Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und
Rehabilitationsforschung der Universität Marburg/Lahn
Direktor: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS ANPASSUNGSVERHALTEN DER TAGESRHYTHMISCHEN PHASENTYPEN BEI VERSCHIEBUNG DES NACHTSCHLAFS

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

SILVIA MACK, geb. Döhre
aus Vellmar

Marburg/Lahn 1979

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus dem Institut für Arbeitsphysiologie und
Rehabilitationsforschung der Universität Marburg/Lahn
Direktor: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DAS ANPASSUNGSVERHALTEN DER TAGESRHYTHMISCHEN PHASENTYPEN BEI VERSCHIEBUNG DES NACHTSCHLAFS

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin

dem Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg
vorgelegt von

SILVIA MACK, geb. Döhre

aus Vellmar

Marburg/Lahn 1979

Druck: Görich & Weiershäuser, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg am 9. Juli 1979

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan: Prof. Dr. med. F. Neurath
Referent: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt
Correferent: Prof. Dr. med. H. Hensel

Meinen Eltern

in Dankbarkeit gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546027_0060

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	7
II.	Methodik	10
	1. Allgemeine Übersicht	10
	2. Versuchsraum	10
	3. Versuchspersonen	11
	4. Versuchsablauf	12
	5. Spezielle Untersuchungsmethoden	13
	a) Einschlaflatenzzeit und Schlafdauer	13
	b) Pulsfrequenz	14
	c) Atemfrequenz	14
	d) Körperkerntemperatur	15
	e) Subjektive Vigilanz	15
	6. Statistische Methodik	17
III.	Ergebnisse	19
	1. Einschlaflatenzzeit	19
	2. Schlafdauer	21
	3. Rektaltemperatur	27
	4. Herzfrequenz	29
	a) Synchronisation nach dem Einschlafzeitpunkt	29
	b) Synchronisation nach der Tageszeit	32
	c) Herzfrequenz und Rektaltemperatur	34
	5. Herz- und Atemfrequenz im Schlaf	34
	6. Subjektive Vigilanz	37
	a) Vigilanz bei Versuchsbeginn	39
	b) Vigilanz am Tage nach den Versuchsnächten	39
	7. Körpertemperatur am Tage nach den Versuchsnächten	44

Seite

IV. Diskussion 47
1. Zur Methodik 47
a) Wahl der Versuchspersonen 47
b) Versuchsanordnung 49
c) Untersuchungsmethoden 52
2. Zu den Ergebnissen 55
a) Einschlaflatenzzeit 55
b) Schlafdauer 57
c) Körpertemperatur 61
d) Herzfrequenz 64
e) Frequenzkoordination von Herzschlag und Atmung während des Schlafes 65
f) Subjektive Vigilanz 67

V. Zusammenfassung 70

VI. Literaturverzeichnis 72

I. EINLEITUNG

In vielen Bereichen unserer modernen Arbeitswelt, genannt seien nur industrielle Produktion, Verkehrs- und Gesundheitswesen, stellt die Durchführung von Nacht- und Schichtarbeit seit langem eine unabdingbare Notwendigkeit dar (MENZEL, 1962).

Die mit dieser willkürlichen Loslösung von vorgegebenen natürlichen Umweltzeitordnungen verbundenen Belastungen für den Menschen gaben Anlaß zu einer Vielzahl chronobiologischer Untersuchungen über die Reaktionsweise des Organismus auf Änderungen im Tagesrhythmus von Aktivität und Ruhe (Lit.-Übersicht s. MENZEL 1962; HILDEBRANDT 1976). Es zeigte sich, daß große interindividuelle Unterschiede in der Verträglichkeit von Nacht- und Schichtarbeit bestehen. Während sich ein Teil der Individuen ohne merkliche Beeinträchtigung des Gesundheitszustandes an die Bedingungen der Nachtarbeit anpaßt, müssen andere bereits nach kurzer Zeit aus medizinischen Gründen zur Tagarbeit zurückkehren. Darum erscheint die Entwicklung von Kriterien wünschenswert, anhand derer ohne großen experimentellen Aufwand eine individuelle Adaptationsprognose im Sinne einer Berufseignungsprüfung gestellt werden kann.

Nach übereinstimmender Auffassung verschiedener Autoren (AANONSEN 1964; ÖQUIST 1970; PATKAI 1970; ÖSTBERG 1973; ÖSTBERG & HORNE 1976; PETTERSON-DAHLGREN 1976) läßt sich ein Großteil der Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit an Umstellungen des Wach-Schlaf-Zyklus durch eine Differenzierung von Morgen- und Abendtypen erklären. Der sog. Morgentyp ist durch eine frühere Phasenlage der Circadianrhythmik mit Maxima in der ersten Hälfte des Tages, der sog. Abendtyp durch maximale Auslenkungen seiner rhythmischen Funktionen in der zweiten Tageshälfte charakterisiert. Die Ursache für die Ausprägung dieser beiden Phasentypen wird heute allgemein in Unterschieden der Spontanfrequenz des circadianen Systems gesehen.

ASCHOFF (1965) sowie HOFFMANN (1963) konnten an verschiedenen Tierspezies den Nachweis führen, daß zwischen der Spontanfre-

quenz des bei Ausschluß aller äußeren Zeitgeber frei laufenden Circadianrhythmus und der Phasenbeziehung des Circadianrhythmus zum Zeitgeberrhythmus im synchronisierten Zustand eine strenge Korrelation besteht, und zwar in dem Sinne, daß mit Verkürzung der circadianen Periodendauer eine Tendenz zum Voreilen gegenüber dem äußeren Zeitgeberrhythmus (Morgentyp), mit Verlängerung dagegen eine zunehmende Verspätung der Phasenlage besteht (Abendtyp).

Im Prinzip dürften diese Beziehungen auch für den Menschen gültig sein. Im Rahmen seiner klassischen Isolationsversuche zur Periodendauer der menschlichen Circadianrhythmik unter Ausschluß aller äußeren Zeitgeber konnte ASCHOFF (1967; 1970) jedenfalls individuelle Unterschiede in der Spontanfrequenz des freilaufenden circadianen Systems nachweisen. Während die Mehrzahl seiner Probanden eine deutlich über 24 Stunden (m=25,2 h) verlängerte Periodendauer des Schlaf-Wach-Zyklus entwickelte, hoben sich einige mit positiver Phasenwinkeldifferenz, d.h., durch eine nur geringfügig über 24 Stunden (m=24,1 h) verlängerte Periode, von dieser Gruppe ab.

Eine Spontanverkürzung der Tagesrhythmik gegenüber 24 Stunden, wie sie theoretisch vom sog. Morgentyp gefordert werden muß, konnte allerdings bislang nicht gemessen werden. Möglicherweise sind die vielfältigen soziologisch-psychologischen Einflüsse auf die endogenen Grundstrukturen des Menschen für diesen Mangel verantwortlich.

Bei der Mehrzahl der uns bisher vorliegenden Arbeiten über interindividuelle Differenzen der menschlichen Circadianrhythmik handelt es sich lediglich um Feldstudien. Die Valenz subjektiver Methoden, wie sie z.B. in dem von HORNE & ÖSTBERG (ÖSTBERG 1976) entworfenen Morgentyp-Abendtyp-Fragebogen vorliegen, erscheint noch nicht hinreichend abgeklärt. Fußend auf Untersuchungen von HILDEBRANDT (1953; 1960; 1962; 1967) über die Abhängigkeit der Größe des Quotienten aus Herzschlag- und Atemfrequenz von der individuellen vegetativen Reaktionslage, gelang nun in letzter Zeit HILDEBRANDT, BESTEHORN u. STREMPEL (1976) der experimentelle Nachweis einer Beziehung zwischen

der Phasenlage circadianer Rhythmen und dem vegetativen Grundtonus. Ergotrope Reaktionslage und erhöhter Puls-Atem-Quotient ordnen sich nach ihren Befunden dem Morgentyp, trophotrop= gedämpfte Reagibilität und erniedrigter Quotient dem Abendtyp zu.

Angeregt durch diese Ergebnisse setzten wir uns das Ziel, durch eine vergleichende Untersuchung ausgewählter Vertreter der beiden Phasentypen die Bedeutung der individuellen circadianen Phasenlage für die Adaptationskapazität weiter zu analysieren und zu belegen.

Die in der Literatur allgemein vertretene Auffassung, ungenügende Schlaferholung sei für die ungünstigen Auswirkungen der Nacht- und Schichtarbeit verantwortlich zu machen, bewog uns, den Nachtschlaf bei verschiedenen Zubettgehzeiten als Indikator vegetativ-adaptiver Reaktionen auszuwählen. Bereits in den sechziger Jahren regte AANONSEN (1964) eine weitere Erforschung des Schlafverhaltens an, nachdem er eine auffallende anamnestische Übereinstimmung zwischen Schlafgewohnheiten und Verträglichkeit von Nachtarbeit festgestellt hatte.

Im einzelnen soll unsere Arbeit einen Beitrag zur Klärung folgender Fragestellungen liefern:
Zeigen Morgen- und Abendtypen Differenzen im Ausmaß ihrer Anpassungsfähigkeit an Zeitverschiebungen des Nachtschlafs? Bestehen objektiv feststellbare Unterschiede im Schlaf-Wach-Muster der beiden tagesrhythmischen Phasentypen? Läßt sich eine Prognose über die individuelle Verträglichkeit von Nacht- und Schichtarbeit unter anderem auf anamnestische Erhebungen über die individuellen Schlafgewohnheiten stützen?

II. METHODIK

1. Allgemeine Übersicht

In der Zeit vom 15. März bis 30. Juni 1976 wurden sechs weibliche Versuchspersonen, von denen drei aufgrund von Voruntersuchungen zur Festlegung ihrer circadianen Phasenlage als ausgeprägte Morgentypen und drei als extreme Abendtypen eingestuft waren, hinsichtlich ihres Schlafverhaltens bei systematischer Verschiebung der Zubettgehzeiten untersucht. Hierzu diente die Bestimmung der jeweiligen Einschlaflatenz, der spontanen Schlafdauer unter konstanten Außenbedingungen (Klimakammer) und die fortlaufende Registrierung der Körperkerntemperatur sowie der Herz- und Atemfrequenz.

Die unter kontrollierten Versuchsbedingungen in den Klimakammern des Arbeitsphysiologischen Instituts gewonnenen objektiven Daten wurden durch Temperaturmessungen und Selbsteinschätzungen der Vigilanz ergänzt, welche die Probandinnen am der jeweiligen Versuchsnacht folgenden Tag in ihrer häuslichen Umgebung in dreistündlichen Intervallen vornahmen.

2. Versuchsraum

Die Versuche wurden in zwei Klimakammern desselben Konstruktionstyps (Firma WEISS; Gießen) in der Klimakammerabteilung des Instituts für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung der Universität Marburg durchgeführt.

Beide Kammern besitzen dieselbe Innenausstattung, bestehend aus einem krankenhausüblichen Bett mit Federkernmatratze und Daunensteppdecke, einem Nachttisch, einer Kleiderablage und einer Vorverstärker-Einheit für die abgeleiteten Impulse. Von dieser führen Kabel zu dem in einem benachbarten Raum installierten polygraphischen Meßplatz (Firma TÖNNIES/HELLIGE). Zu einer den Umständen entsprechenden Wohnlichkeit der Kammern,

wie sie von allen Versuchspersonen empfunden wurde, trugen freundliche Farbgebung der Möbel, helle Wandauskleidung und Bilderschmuck bei.

Die Benutzung der Klimakammern ermöglichte die Aufrechterhaltung konstanter äußerer Bedingungen wie Raumtemperatur, Luftfeuchtigkeit und Lichtverhältnisse über die Gesamtdauer eines Einzelversuchs sowie die Herstellung identischer Außenbedingungen für alle vierundzwanzig Versuche. Als angenehme Raumtemperatur zum Schlafen wurden 19°C bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 45% gewählt. Während des Versuchszeitraums herrschte völlige Dunkelheit in der Kammer. Die Betriebsgeräusche der Anlage waren für die Probandinnen zwar schwach hörbar (35 dB), ihre Gleichförmigkeit erlaubte jedoch eine schnelle Gewöhnung. Der Kontakt zwischen Versuchsperson und Versuchsleiter wurde über eine Wechselsprechanlage (Firma AEROPHONE; Japan) hergestellt; insbesondere ermöglichte diese es den Probandinnen, dem Versuchsleiter ihr Erwachen durch Auslösen eines Summtons mitzuteilen.

3. Versuchspersonen

Bei den Versuchspersonen handelte es sich um sechs gesunde Studentinnen im Alter zwischen 22 und 30 Jahren (m= 25,2 Jahre; s= 3,37 Jahre) mit normaler Lebensweise. Ihre Auswahl erfolgte unter dem Gesichtspunkt einer größtmöglichen Übereinstimmung der Selbsteinschätzung als ausgeprägter Morgen- bzw. Abendtyp einerseits und objektiv festgelegter circadianer Phasenlage andererseits. Hierzu waren die Probandinnen im Rahmen einer zur selben Zeit im Institut durchgeführten Untersuchungsreihe (WERNER 1978) einem 24-Stunden-Versuch unter gleichmäßigen Ruhebedingungen unterzogen worden, wobei der Tagesgang der Körpertemperatur, der Herz- und Atemfrequenz und deren Frequenzkoordination erfaßt wurden. Die Selbsteinschätzung wurde anhand eines in modifizierter deutscher Fassung von HORNE & ÖSTBERG (ÖSTBERG 1976) übernommenen tagesrhythmischen Fragebogens vorgenommen.

Da die objektive Voruntersuchung unter weitgehend ähnlichen äußeren Umständen betreffs Räumlichkeiten und Meßapparaturen stattfand, konnten wir auf eine Probenacht verzichten, wie sie anderenfalls zur Vermeidung von "first-night"-Effekten aufgrund mangelnder Anpassung an die Versuchssituation angezeigt gewesen wäre.

Die Versuchspersonen wurden gebeten, vor der jeweiligen Versuchsnacht ihren gewohnheitsmäßigen Tageslauf einzuhalten; insbesondere klärten wir sie darüber auf, daß sowohl ein "Schlafdefizit" aus den dem Versuch vorausgehenden Tagen als auch ein "Vorschlafen", um sich das Wachbleiben bis zu den späten Versuchsterminen zu erleichtern, eine Verfälschung der Untersuchungsergebnisse zur Folge haben würde.

4. Versuchsablauf

Mit jeder Probandin wurden vier Einzelversuche mit vorgegebener Einschlafzeit unternommen, die wir, beginnend bei 21.00 Uhr als eben tolerierbarer Zubettgehzeit, systematisch um jeweils zwei Stunden auf 23.00, 1.00 und 3.00 Uhr verschoben. Zur Vermeidung von systematischen Fehlern überließen wir die Reihenfolge der Einzelversuche der freien Wahl der Probandinnen (vgl. Tabelle 6 auf S. 51). Die Zeitabstände zwischen den einzelnen Untersuchungseinheiten durften beliebig groß sein, mußten jedoch mindestens zwei Tage betragen, um ein Erholungsdefizit oder eine Beeinflussung der vegetativen Ausgangslage der Individuen durch den jeweils vorangegangenen Versuch sicher ausschließen zu können. Vermieden wurden außerdem Tage, an denen die Phase des Menstruationszyklus einen Temperatursprung erwarten ließ.

Die Probandinnen wurden gebeten, ihre letzte, möglichst eiweißarme Mahlzeit spätestens vier Stunden vor Versuchsbeginn einzunehmen und auch bei starker Müdigkeit auf keinen Fall zu Aufputschmitteln wie Kaffee, Tee oder Alkohol zu greifen, um sich das Wachbleiben bis zum Versuchszeitpunkt zu erleichtern.

Ungefähr eine Stunde vor der jeweiligen Startzeit wurden die Versuchspersonen, in ihrer gewohnten Nachtbekleidung, an die Registriergeräte angeschlossen und benoteten dann ihre Vigilanz unmittelbar vor Versuchsbeginn. Dieser wurde durch Ausschaltung der elektrischen Innenbeleuchtung der Kammer markiert. Die Probandinnen schliefen bei vollständiger Dunkelheit ohne äußere Störungen bis zum morgendlichen Spontanerwachen, welches sie dem Versuchsleiter über die Wechselsprechanlage durch Auslösen eines Summtons mitteilten. Eine direkt nach dem Aufwachen vorgenommene Vigilanzbeurteilung schloß den im Institut durchgeführten Versuchsteil ab.

In ihrer gewohnten Umgebung setzten die Probandinnen dann die Selbsteinschätzungen der Vigilanz auf einem ihnen mitgegebenen Fragebogen fort, und zwar in dreistündlichen Abständen über den Tag hinweg, beginnend um 9.00 bzw. 12.00 Uhr (je nach Aufwachzeitpunkt). Zu denselben Tageszeiten ermittelten sie ihre Körpertemperatur mit Hilfe eines Sublingualthermometers.

5. Spezielle Untersuchungsmethoden

a. Einschlaflatenzzeit und Schlafdauer

Die von den Versuchspersonen benötigte Einschlaflatenz wurde bestimmt als die Zeitspanne zwischen dem markierten Versuchsbeginn ("Licht aus") und dem objektivierten Schlafbeginn. Das in Vorversuchen praktizierte Verfahren, über den Wach- bzw. Schlafzustand der Probandinnen aufgrund ihrer Reaktion auf namentliche Anrufe zu entscheiden, die der Versuchsleiter mit 10 - 15 minütlichem Abstand über die Sprechanlage flüsterte, wurde wieder verlassen, nachdem Probandinnen berichteten, aufmerksames Erwarten der Stimme des Versuchsleiters hätte ihr Einschlafen gehemmt. Wir gingen dann dazu über, den Schlafeintritt an den deutlich unter das individuelle Wachniveau der Versuchsperson absinkenden Frequenzen von Herzschlag und Atmung, die minütlich registriert wurden, abzulesen. Diese Methode darf als hinreichend exakt angesehen werden, nachdem mehrfach von anderen Untersuchern eine gute zeitliche Überein-

stimmung zwischen dem anhand einer EEG-Analyse ermittelten Schlafbeginn und dem damit verbundenen Frequenzabfall von Herzschlag und Atmung gefunden wurde (s. hierzu Abschnitt "Untersuchungsmethoden" der methodischen Diskussion).

Vom objektivierten Einschlafzeitpunkt an rechnete die Schlafdauer bis zum spontanen Erwachen, das von der Versuchsperson über die Sprechanlage gemeldet und anhand der plötzlich einsetzenden und im Gegensatz zum flüchtigen Frequenzanstieg während einer REM-Phase des Schlafes fortdauernden Niveauanhebung der Herzschlag- und Atemfrequenz auf die Minute genau festgelegt wurde.

b. Pulsfrequenz

Die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz erfolgte indirekt durch Ableitung eines bipolaren Brustwand-EKGs. Die zur Vermeidung von Polarisationsströmen mit HELLIGE-Elektrodencreme bestrichenen Langzeit-Klebeelektroden (Herst.: Fa. HELLIGE; Freiburg/Br.) lagen über der Herzspitze und dem 3.ICR rechts parasternal, die Erdungselektrode am linken Oberarm über dem Ansatz des M. deltoideus.

Die Häufigkeit der R-Zacken wurde am polygraphischen Meßplatz aufsummiert und in Abständen von 1 Minute als Frequenzwert (P/min) ausgedruckt.

c. Atemfrequenz

Zur Erfassung der Atemfrequenz befestigten wir einen doppelseitigen Nasenfühler so auf dem Nasenrücken der Probandinnen, daß die darin eingebauten Thermistoren optimal im Naseneingang zu liegen kamen. Die Temperaturdifferenz der In- und Exspirationsluft induziert Widerstandsänderungen im Thermistor, deren Frequenz vom Registriergerät erfaßt und gleichfalls in 1-minütlichen Abständen als Summenwert ausgedruckt wurde.

Die synchrone Registrierung von Puls- und Atemfrequenz ermöglichte die Bildung der Quotienten aus diesen beiden Funktionsgrößen.

d. Körperkerntemperatur

Für die Messung der Körperkerntemperatur wurde ein in das Ende eines biegsamen Kunststoffkabels eingebauter Temperaturfühler ca. 15 cm tief in das Rektum eingeführt. Durch möglichst geschickte Fixierung des Ableitungskabels suchten wir eine Belästigung der Versuchspersonen durch Auflagedruck weitgehend auszuschließen.

Überhaupt achteten wir bei der Bemessung der Länge der Ableitungskabel darauf, die Bewegungsfreiheit der Probandinnen während des Schlafes nicht unnötig einzuschränken.

Die Registrierung der Körpertemperatur erfolgte am polygraphischen Meßplatz synchron mit Herz- und Atemfrequenz, so daß uns für die Auswertung ebenfalls 1-Minuten-Werte dieser Funktionsgröße zur Verfügung standen.

Für die Temperaturmessungen am Tage nach der Versuchsnacht gaben wir den Probandinnen Sublingualthermometer mit nach Hause. Über die Meßtechnik wurden sie hinreichend belehrt. Die Meßdauer wurde ihnen, wie allgemein üblich, mit 5 Minuten vorgeschrieben.

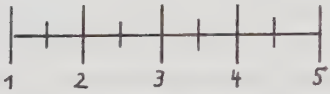
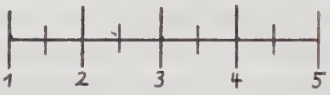
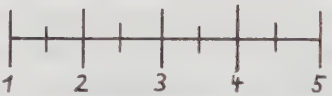
e. Subjektive Vigilanz

Als Vorlage für die Entwicklung eines Vigilanz-Fragebogens, wie er in Tabelle 1 abgebildet ist, dienten uns sechs von WENDT u. WERNER (1977) zusammengestellte Gruppen polarer Adjektive, die verschiedene Aspekte des körperlichen und seelischen Befindens charakterisieren. Die Versuchspersonen wurden gebeten, zu den vorgeschriebenen Uhrzeiten (9.00, 12.00, usw. bis 24.00 Uhr) ihr momentanes Befinden durch Vergabe von Noten zwischen 1 und 5 zu kennzeichnen, wobei auch Zwischenwerte (1,5; 2,5 ...) gewählt werden konnten. Wir versuchten, der eventuellen Neigung der Versuchspersonen, ihre Wertungen bewußt oder unbewußt auf einen optisch harmonischen Tagesgang der Vigilanz abzustimmen, durch die graphische Anordnung der Skalen und die Verwendung je eines neuen Formblattes für jede

Tabelle 1:

Versuchsperson: _____

Versuch: _____ Uhrzeit: _____

Ich bin:		Ich bin:
1.- gut gelaunt - froh - hochgestimmt		- schlecht gelaunt - niedergedrückt - mißgestimmt
2.- unaufmerksam - stumpf - dösig - schläfrig		- aufmerksam - hellwach - reaktionsschnell
3.- leistungswillig - unternehmungs- lustig		- lustlos - träge
4.- ruhig - gelöst - entspannt - ausgeglichen		- unruhig - gereizt - nervös - gespannt - verkrampft
5.- kraftvoll - leistungsfähig		- kraftlos - matt
6.- satt - habe keinen Hunger		- hungrig - habe Appetit

Körpertemperatur: _____ °C

Tageszeit entgegenzuwirken. Zusätzlich wurde ihnen eingeschärft, jeden Bogen unbedingt ohne Vergleich mit den Vorhergehenden auszufüllen. Da sie alle Bögen vor der nächsten Versuchseinheit an uns ablieferten, war ihnen auch ein Vergleich zwischen den einzelnen Versuchstagen unmöglich.

6. Statistische Methodik

In die Bildung stündlicher Mittelwerte der Herz- und Atemfrequenz sowie der Rektaltemperatur einer Probandin gingen die ausgedruckten Minutenwerte vollständig ein, indem jeweils sechs 10-Minuten-Mittelwerte in einer zweiten Rechenoperation zu einem Stundenmittelwert zusammengefaßt wurden (z.B. 21.30 - 22.29 = 22.00).

Aus den Daten der Pulsfrequenz wurden außerdem, einsetzend beim Zeitpunkt des Schlafbeginns, Mittelwerte der Schlafstunden errechnet. Die so gewonnenen Mittelwerte der Pulsfrequenz wurden in Prozent des nächtlichen Stunden-Minimalwertes (bzw. in Prozent des Pulsminimums während des Schlafes) angegeben.

Zum Ausgleich interindividueller Niveauunterschiede wurden die individuellen Mittelwerte vor der Bildung der Gruppenmittelwerte auf ein gemeinsames individuelles mittleres Niveau bezogen.

Wo eine interpolierende zeitliche Festlegung der Extremwerte einer Funktionsgröße notwendig erschien, wurde zum Ausschluß von Zufälligkeiten eine übergreifende Dreiermittelung der Werte durchgeführt.

Die Vigilanz-Fragebögen wurden nach folgendem Schema ausgewertet: 1. Bildung individueller Tagesmittelwerte für jede der sechs Befindlichkeiten; 2. Umrechnung aller Einzelwertungen eines Individuums in Prozent des Tagesmittels im 23.00-Versuch (entspricht Normalbedingungen); 3. anschließend Bildung von Gruppenmittelwerten für beide Phasentypen.

Alle Mittelwerte wurden arithmetisch bestimmt, Standardabweichungen (s) und mittlere Fehler der Mittelwerte (s_m) nach folgenden Formeln:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x-M)^2}{n-1}}$$

$$\sigma_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Die Differenzen der Mittelwerte wurden anhand des t-Tests auf ihre Signifikanz geprüft, die p-Werte der STUDENT-Verteilung entnommen (Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen, 1960). Alle Rechnungen wurden mit einem fest programmierten elektronischen Taschenrechner (Fa. HEWLETT-PACKARD) durchgeführt.

III. ERGEBNISSE

1. Einschlaflatenzzeit

In Abb. 1 sind die Einschlaflatenzen der je drei Morgen- und Abendtypen gegen die vorgegebene Zubettgehzeit aufgetragen. Dabei zeigt sich für beide Phasentypen eine eindeutige und gleichsinnige Abhängigkeit der Latenzzeiten vom Zeitpunkt des Schlafengehens.

Der früheste Untersuchungstermin um 21.00 Uhr forderte beiden Gruppen die absolut längste Wartezeit bis zum Einschlafen ab; zwei Stunden später benötigten sie nur noch halb so viel Zeit. Die nach Mitternacht angesetzten Versuchszeiten (1.00 und 3.00 Uhr) brachten beiden Phasentypen eine weitere deutliche Erniedrigung der Latenzzeiten.

Vergleicht man jedoch die absoluten Latenzzeiten der beiden Phasentypen, wird offensichtlich, daß sie zwar in der Tendenz von höheren zu niederen Werten mit fortschreitender Verschiebung des Versuchsbeginns übereinstimmen, daß aber diese Bewegung für die Abendtypen bei den vor Mitternacht beginnenden Versuchen auf einem signifikant höheren Niveau abläuft. Legt man als mittlere Einschlaflatenz eines repräsentativen Querschnitts der erwachsenen Bevölkerung 15 (9 - 25) Minuten zugrunde (JOHNSON 1928), so sieht man, daß beide Phasentypen die ungewohnt frühe Zubettgehzeit von 21.00 Uhr mit einer Verlängerung dieser Zeitspanne beantworten; dabei steht einem Mittelwert von 50 Minuten bei den als Morgentypen eingestuften Probandinnen eine auf dem 0,005%-Niveau signifikant höhere Latenz von 195 Minuten bei den abendtypischen Versuchspersonen gegenüber.

Auch bei der um zwei Stunden verschobenen Zubettgehzeit (23.00) differieren die Latenzzeiten der beiden Typengruppen mit einer Signifikanz von 0,01%, wobei die Abendtypen noch deutlich über, die Morgentypen aber bereits innerhalb der Streubreite des Durchschnittswertes der Bevölkerung liegen.

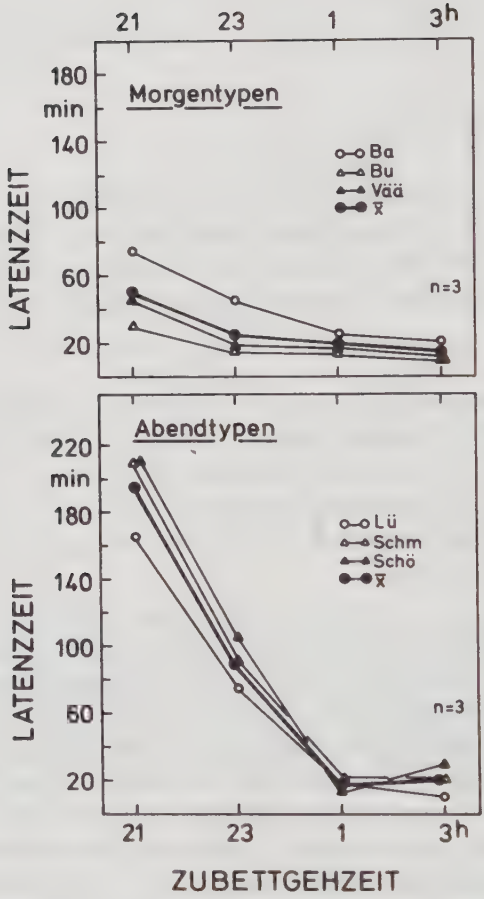


Abb. 1: Die individuellen Einschlaflatenzen der drei Morgentypen (oben) und der drei Abendtypen (unten) in Abhängigkeit von der Zubettgehzeit. Die dick ausgezogenen Kurven entsprechen den Gruppenmittelwerten.

Bei dem um 1.00 Uhr beginnenden Versuch schliefen beide Typengruppen mit etwa gleichgroßer, im Normbereich liegender Verzögerung ein.

Die Verschiebung der Zubettgehzeit auf 3.00 Uhr führte nur bei den Morgentypen zu einer weiteren Reduktion der Einschlaflatenzzeit. Die Abendtypen brauchten zum Einschlafen im Mittel sogar geringfügig länger als beim 1.00 Uhr-Versuch.

2. Schlafdauer

In Abb. 2 sind die individuellen Schlafdauern in Abhängigkeit von der jeweilig vorgegebenen Zubettgehzeit für beide Typengruppen dargestellt. Die durch verschiedene Einschlaflatenzzeiten beider Phasentypen bedingten Verschiebungen der realen Schlafzeiten gegenüber der Ortszeit werden in dieser Abbildung miterfaßt. Dabei tritt die unterschiedliche Reaktion der beiden Typengruppen auf die experimentelle Verschiebung der Zubettgehzeit deutlich hervor:

Gehen die Probandinnen um 21.00 Uhr zu Bett, so schlafen Morgen- und Abendtypen nahezu gleichlange, wobei die Morgentypen nur aufgrund ihrer vergleichsweise niedrigen Latenzzeit rund 2,5 Stunden früher am nächsten Morgen erwachen (vgl. Tabelle 2). Die Gruppe der morgentypischen Individuen erreicht hier überhaupt die größte Schlafdauer aller Versuche.

Wird die Zubettgehzeit um zwei Stunden auf 23.00 Uhr verschoben, erfahren die Morgentypen bei unveränderter mittlerer Aufwachzeit (6.40 Uhr) trotz verminderter Einschlaflatenz eine Verkürzung der Schlafdauer um durchschnittlich etwa 100 Minuten. Bei den Abendtypen bleiben die veränderten Versuchsbedingungen nahezu ohne Einfluß auf Einschlaf- und Aufwachzeitpunkt, sieht man von einer geringfügigen Erhöhung der mittleren Schlafdauer ab. Diese liegt im Vergleich mit den Morgentypen auf einem signifikant höheren Niveau ($p < 0{,}005\%$).

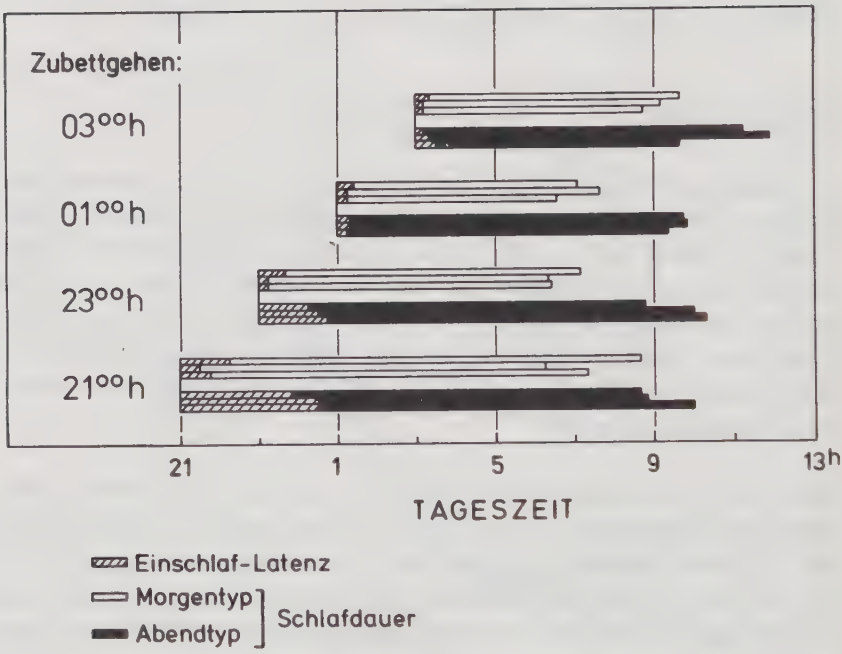


Abb. 2: Individuelle Einschlaflatenzen und spontane Schlafdauern der je drei Morgen- und Abendtypen in den vier Einzelversuchen in Abhängigkeit von der Tageszeit.

Messgrösse	‹Licht aus›	Morgentypen			Abendtypen			Mittelwerte/Streuung				p-Werte d.Diff.
		Ba	Bu	Vää	Lü	Schm	Schö	MT o		AT ●		
								$\bar{x}$	Sm	$\bar{x}$	Sm	
Einschlaf-latenzzeit (min)	21.00	75	30	45	165	210	210	50,00	13,23	195	15,00	< 0,005
	23.00	45	15	15	75	90	105	25,00	10,00	90	8,66	< 0,01
	1.00	25	15	15	20	20	15	18,33	3,33	18,33	1,67	-.-
	3.00	20	10	10	10	20	30	13,33	3,33	20,00	5,77	-.-
Schlaf-dauer (min)	21.00	495	525	575	535	500	570	532	23,33	535	20,21	-.-
	23.00	435	435	430	510	570	570	433	1,67	550	20,00	< 0,005
	1.00	340	385	320	505	510	480	348	19,22	498	9,28	< 0,005
	3.00	380	360	335	485	515	360	358	13,02	500 n=2	15,00	< 0,01

Tabelle 2: Einschlaflatenzzeiten und Schlafdauer der je drei Morgen- und Abendtypen bei den vier Versuchen. Gruppenmittelwerte und -streuung sowie p-Werte der Differenz

Die drei als Morgentypen eingestuften Probandinnen konnten sich nur mit Mühe bis 1.00 Uhr wachhalten. Sie erwachten bei diesem Versuch bereits nach einer mittleren Schlafdauer von nur 348 Minuten (entsprechend 7.10 Uhr), was eine Schlafverringerung um etwa drei Stunden gegenüber dem 21.00 Uhr-Versuch bedeutet. Die Abendtypen erfahren bei diesem Versuch eine mittlere Schlafeinbuße von 40 Minuten, da sie später als beim 23.00 Uhr-Versuch einschlafen, jedoch im Mittel zur selben Zeit erwachen. Ihre mittlere Schlafdauer liegt aber dessen ungeachtet signifikant über derjenigen der Morgentypen ($p < 0{,}005\%$).

Während die drei Abendmenschen die Verschiebung der Zubettgehzeit auf 3.00 Uhr relativ gut tolerierten, gelang es den Morgentypen nur unter Aufbietung größter Selbstdisziplin, bis zum Versuchsbeginn wachzubleiben. Unter diesen Bedingungen kam es dann auch zum Überschreiten der morgendlichen Schlafgrenze von 7.00 Uhr sowie zu einer leichten Anhebung der mittleren Schlafdauer. Eine Probandin (Bu) reagierte allerdings mit einer weiteren Reduktion ihrer Schlafzeit um 50 Minuten gegenüber dem 1.00 Uhr-Versuch.

Die Reaktion der Abendtypen fiel uneinheitlich aus: Lü zeigte eine Abnahme der Schlafdauer um 20 Minuten, Schm eine 15minütliche Zunahme im Vergleich zum 1.00 Uhr-Versuch. Die sonst durchaus kooperative Probandin Schö war zu diesem Untersuchungstermin bereits mit deutlicher innerer Auflehnung gegen die Versuchssituation erschienen. Nach unauffälliger Einschlaflatenzzeit erwachte sie nach nur 6 Stunden Schlaf schon um 9.30 Uhr. Diese von der Probandin selbst als ungewöhnlich kurz empfundene Schlafzeit muß wohl im Zusammenhang mit ihrer psychischen Irritation gesehen werden. Wir fühlten uns deshalb berechtigt, dieses Versuchsergebnis bei der Errechnung des Gruppenmittelwertes unberücksichtigt zu lassen. Wie die Kurvenverläufe der circadianrhythmischen Funktionen (Rektaltemperatur, Herz- und Atemfrequenz) zeigen, bietet Probandin Schö auch in diesem Versuch ein klassisches abendtypisches Verhalten mit Verspätung der Phasenlage. Bemerkenswert erscheint zudem, daß sie trotz der vergleichsweise kurzen Schlafdauer in ihrer Vigilanz nicht beeinträchtigt ist.

Die beiden anderen Abendtypen (Lü u. Schm) erreichen auch in diesem Versuch eine signifikant höhere Schlafdauer als die Morgentypen ($p < 0{,}01\%$).

In Abb. 3 sind mittlere Einschlaflatenz und mittlere Spontanschlafdauer über dem Einschlaftermin synchronisiert. Die Gegenüberstellung der beiden Typengruppen vermittelt einen anschaulichen Gesamteindruck der typenspezifischen Veränderungen beider Größen bei Verschiebung der Zubettgehzeiten. Insbesondere werden die statistisch signifikanten Unterschiede in der Schlafdauer beider Phasentypen beim 23.00, 1.00 und 3.00 Uhr-Versuch deutlich.

Zusammenfassend können wir festhalten:
1. Mit Ausnahme des 21.00 Uhr-Versuchs sind die Abendtypen durch eine signifikant höhere Schlafdauer gegenüber den Morgentypen charakterisiert.
2. Die systematische Verschiebung der Zubettgehzeit auf 23.00 und 1.00 Uhr bedeutet für Individuen vom Abendtyp nur eine (willkommene) Verkürzung der Einschlaflatenz, da die von ihnen bevorzugte Ruhezeit erst nach Mitternacht liegt; ihr Schlafverhalten betreffs Dauer und Zeitpunkt des morgendlichen Spontanerwachens wird nur unwesentlich beeinflußt. Läßt man sie erst um 3.00 Uhr schlafen, passen sie sich durch entsprechende Ausdehnung des Nachtschlafs in den Vormittag hinein an den veränderten Schlaf-Wach-Rhythmus an.
3. Werden Morgentypen gezwungen, später als 23.00 Uhr zu Bett zu gehen, erwartet sie eine unphysiologische Verkürzung ihres Nachtschlafs, da sie zu einer flexiblen Ausdehnung der Schlafzeit in den Vormittag offenbar nicht imstande sind.

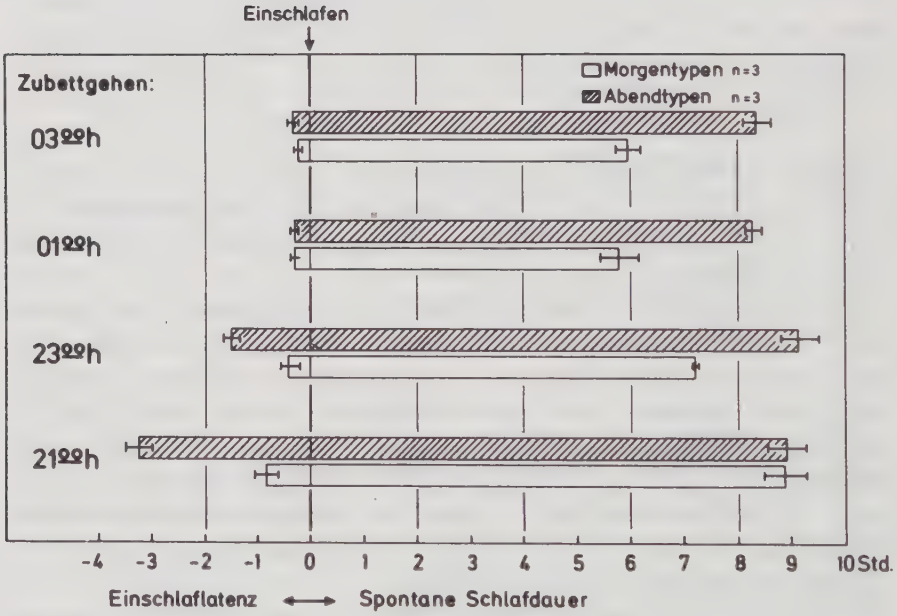


Abb. 3: Die mittleren Einschlaflatenzen und spontanen Schlafdauern der je drei Morgen- und Abendtypen bei Synchronisation über dem Einschlafzeitpunkt.

3. Rektaltemperatur

In Abb. 4a-d werden die beiden Typengruppen anhand des nächtlichen Verlaufs ihrer mittleren Körpertemperatur bei der systematischen Verschiebung ihrer Zubettgehzeiten verglichen.

Die beträchtlichen interindividuellen Niveauunterschiede der Rektaltemperatur wurden vor der Bildung der Gruppenmittelwerte ausgeglichen, indem die individuellen Gesamtmittelwerte dem Durchschnittswert aller Probandinnen der Gruppe gleichgesetzt wurden. In einigen Fällen nahmen wir zur klareren zeitlichen Festlegung der Extremwerte der Kurven eine übergreifende Dreiermittelung der Werte vor.

In allen vier Abbildungsteilen, die den verschiedenen Zubettgehzeiten entsprechen, fällt die Phasendifferenz der Temperaturkurven beider Typengruppen um mehrere Stunden auf (vgl. auch Tabelle 3).

Beim 21.00 Uhr-Versuch (Abb. 4a) erreicht die hier nur aus zwei Probandinnen (Bu u. Vää) gemittelte Kurve der Morgentypen bereits um 24.00 Uhr das nächtliche Minimum und steigt nach einem bis 2.00 Uhr gehaltenen Plateau kontinuierlich bis zum Morgen an. In dieser Abbildung sind die Daten der Probandin Ba gesondert aufgeführt, da ihre Temperaturkurve in auffallend untypischem Verlauf bereits um 22.00 Uhr das Hauptminimum erreicht und dann bis zu einem zweiten relativen Minimum um 5.00 Uhr nur vorübergehend wieder ansteigt. Da Meßfehler durch die kontinuierliche Aufzeichnung der Temperaturwerte auszuschließen waren, müssen Störeinflüsse des bei dieser Probandin sehr unregelmäßigen Menstruationszyklus in Betracht gezogen werden.

Bei den Abendtypen kommt es erst im Zuge der stärkeren trophotropen Umstellung des Vegetativums nach Schlafbeginn, d.h. in diesem Fall nach Mitternacht, zu einem stetigen Absinken der Körpertemperatur, das sich gegenüber den Morgentypen mit flacherem Verlauf bis zum Minimum der Kurve um 5.00 Uhr hinzieht.

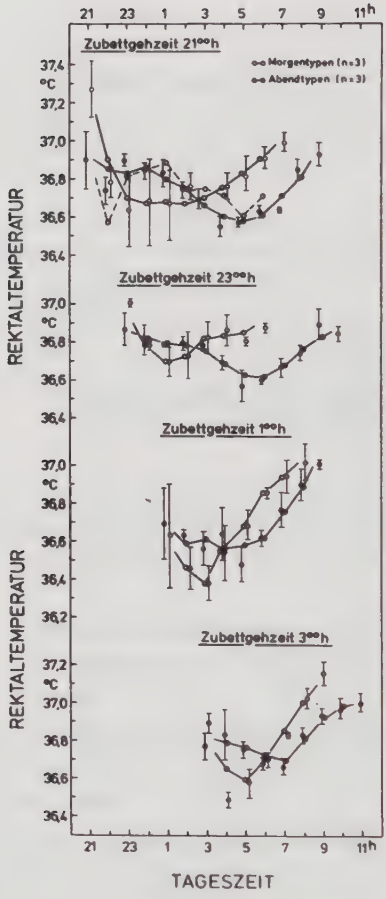


Abb. 4: Mittlerer Verlauf der Rektaltemperaturen der je drei Morgen- und Abendtypen in den vier Untersuchungen mit systematischer Verschiebung der Zubettgehzeit. Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte. Die Kurven sind das Ergebnis einer einmaligen Glättung der 1-Stunden-Mittelwerte durch übergreifende Dreiermittelung. Im 21-Uhr-Versuch sind bei den Morgentypen nur zwei Probanden zusammengefasst, während die Messwerte der dritten Probandin (Ba: o----o) gesondert aufgetragen sind.

In Abb. 4b (23.00 Uhr-Versuch) weisen die mittleren Temperaturkurven der beiden Typengruppen ähnliche Merkmale wie beim 21.00 Uhr-Versuch auf, die Minima sind aber bereits um eine Stunde gegen Morgen verschoben.

Mit der Verschiebung der Zubettgehzeit auf 1.00 und 3.00 Uhr (Abb.c4 +d) kommt es vor allem bei den Morgentypen zu einer weiteren und kontinuierlichen "Rechtsverschiebung" der mittleren Temperaturminima. Verglichen mit dem Verlauf bei den vor Mitternacht angesetzten Versuchsterminen fällt bei den Morgentypen eine größere Anstiegssteilheit der Temperaturkurven des 1.00 und 3.00 Uhr-Versuchs nach Erreichen des nächtlichen Minimums auf; außerdem steigen die Kurven deutlich stärker an als diejenigen der abendtypischen Individuen.

Die Abendtypen zeigen erst beim 3.00 Uhr-Versuch eine gewisse Rechtsverschiebung des Minimalwertes.

Betrachtet man die zeitliche Lage der nächtlichen Minima in bezug auf den Einschlafzeitpunkt (vgl. Tabelle 3 auf S. 34), so zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Phasentypen. Berechnet man die mittlere Differenz aus allen vier Versuchen, ergibt sich mit 1,5 Stunden gegenüber 4,5 Stunden für die Morgentypen ein beträchtlich und statistisch signifikant geringerer Wert.

4. Herzfrequenz

a. Synchronisation nach dem Einschlafzeitpunkt

Um Einblick in das Verhalten dieser Kreislaufgröße während des Schlafes zu gewinnen, bildeten wir, beginnend mit dem objektiven individuellen Einschlafzeitpunkt, Herzfrequenzmittelwerte für alle Schlafstunden. Zum Ausgleich interindividueller Niveauunterschiede wurden diese stündlichen Werte auf das individuelle Minimum der Schlafpulsfrequenz der jeweiligen Nacht (= 100 %) bezogen.

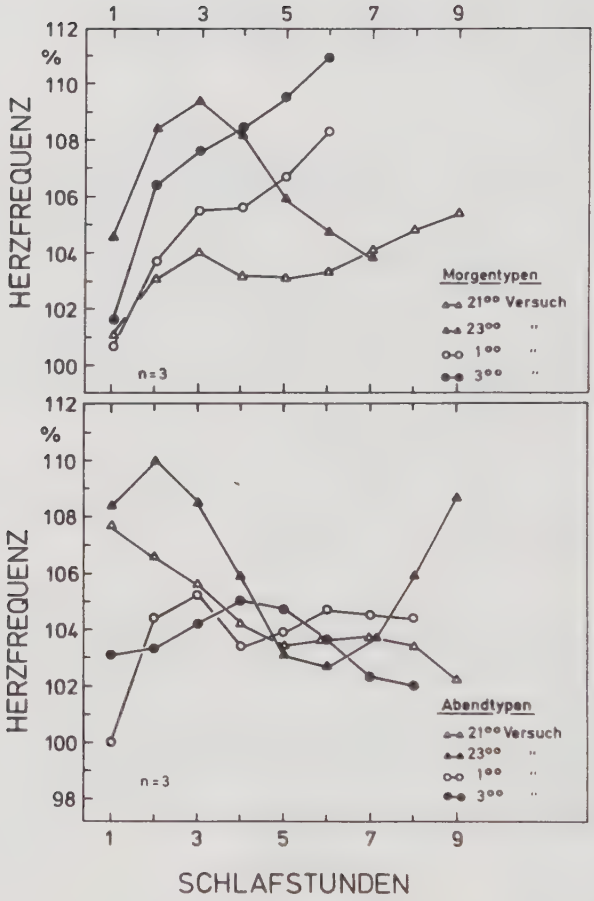


Abb. 5: Mittlere Verläufe der Herzfrequenz der je drei Morgen- (oben) und Abendtypen (unten) in den vier Versuchen mit unterschiedlicher Zubettgehzeit bei Synchronisation über dem Einschlafzeitpunkt. Die Ordinaten sind in Prozent der individuellen Minima der Herzfrequenz innerhalb der Versuchszeiten aufgetragen.

In Abb. 5a+b sind die Verläufe der mittleren Herzschlagfrequenz in den vier Versuchen für beide Typengruppen dargestellt.

Bei den Morgentypen entspricht die Schlafpulskurve des 21.00 Uhr-Versuchs dem von anderen Untersuchern (BOAS & GOLDSCHMIDT 1932; KLEITMAN 1939) an großen Kollektiven gefundenen charakteristischen Verlauf mit einem Frequenzmaximum zwischen der zweiten und dritten Schlafstunde und dem nächtlichen Minimum in der sechsten Schlafstunde. Unter den Bedingungen des 23.00 Uhr-Versuchs stellt sich in den ersten Schlafstunden ein sehr ähnlicher Frequenzverlauf ein, vom 21.00 Uhr-Experiment nur durch die wesentlich höhere Amplitude der Kurve abgehoben. Während jedoch beim 21.00 Uhr-Versuch auf das Minimum in der 5. Schlafstunde ein kontinuierlicher Anstieg der Pulsfrequenz bis zum morgendlichen Spontanerwachen folgt, wird das nächtliche Minimum beim 23.00 Uhr-Versuch gerade eben noch in der letzten, der siebten Schlafstunde erreicht, so daß es zu einem sprunghaften Anstieg der Herzfrequenz unter der allgemeinen sympathischen Erregung des Aufwachens kommt. Sowohl beim 1.00 Uhr- als auch beim 3.00 Uhr-Versuch haben die Morgentypen die niedrigste Schlafpulsfrequenz in der ersten Schlafstunde, worauf in beiden Fällen ein steiler, nahezu geradliniger Anstieg bis zum Erwachen folgt. Diese Bewegung läuft beim 3.00 Uhr-Versuch mit größerer Anstiegssteilheit der Kurve ab.

Betrachten wir demgegenüber die Verhältnisse bei den Abendtypen (Abb. 5b), so fällt beim 21.00 Uhr-Versuch die kontinuierliche Abnahme der Pulsfrequenz vom Maximalwert in der ersten Schlafstunde zum Minimum in der neunten und damit letzten Schlafstunde auf. Die Kurve des 23.00 Uhr-Versuchs entspricht dem in der Literatur beschriebenen Normalverlauf mit Maximum in der zweiten Schlafstunde, Minimalfrequenz in der sechsten und anschließendem Frequenzanstieg bis zum Aufwachzeitpunkt. Beginnt der Versuch um 1.00 Uhr, so fällt das nächtliche Minimum auch bei den Abendtypen in die erste Schlafstunde; nach einem Frequenzanstieg in der 2. und 3. Schlafstunde kommt es jedoch anders als bei den Morgentypen in der 4. Stunde zu

einer Senke und kaum ansteigender Tendenz in den letzten Schlafstunden. Die Pulsfrequenzkurve des 3.00 Uhr-Versuch steigt flach zu einem Frequenzmaximum in der 4. Schlafstunde an und fällt daraufhin kontinuierlich zu dem in der letzten Stunde erreichten Tiefpunkt ab.

b. Synchronisation nach der Tageszeit

Die zweite Darstellungsweise in Abb. 6a+b ermöglicht zusätzlich Aussagen über den Verlauf der Herzfrequenz von Versuchsbeginn bis zum Spontanerwachen, da die stündlichen Mittelwerte der beiden Typengruppen als Funktion der absoluten Tageszeit aufgetragen sind. In der Bewegung der Pulsfrequenzkurven spiegelt sich eindrucksvoll die unterschiedliche Reaktion der beiden Typengruppen auf die verschiedenen Versuchszeiten wider:

Der langen Einschlaflatenzzeit der Abendtypen beim 21.00 Uhr- und 23.00 Uhr-Versuch entspricht die hohe Ausgangslage der Herzfrequenz, von der erst nach langdauerndem starken Abfall (16% bzw. 11%) das nächtliche Minimum endlich gegen Morgen erreicht wird.

Demgegenüber liegt bei den Morgentypen das Niveau der Herzfrequenz um 21.00 Uhr nur 2,5% über dem nächtlichen Minimum, während bei den übrigen drei Versuchen Ausgangswert und Tagestiefstwert identisch sind. Nur beim 21.00 Uhr- und 23.00 Uhr-Versuch wird ein zweites, relatives Minimum gegen Ende der Schlafzeit erreicht, die Kurven des 1.00 Uhr- und 3.00 Uhr-Versuchs zeigen einen ununterbrochenen, steilen Anstieg bis zum Spontanerwachen.

Da für die zwei späten Versuchstermine (1.00 Uhr u. 3.00 Uhr) Untersuchungszeitraum und tatsächliche Schlafdauer aufgrund der kurzen Einschlaflatenzzeiten bei beiden Typengruppen nur geringfügig differieren, führen beide Darstellungsweisen erwartungsgemäß zu nahezu denselben Kurvenbildern (vgl. Abb. 5).

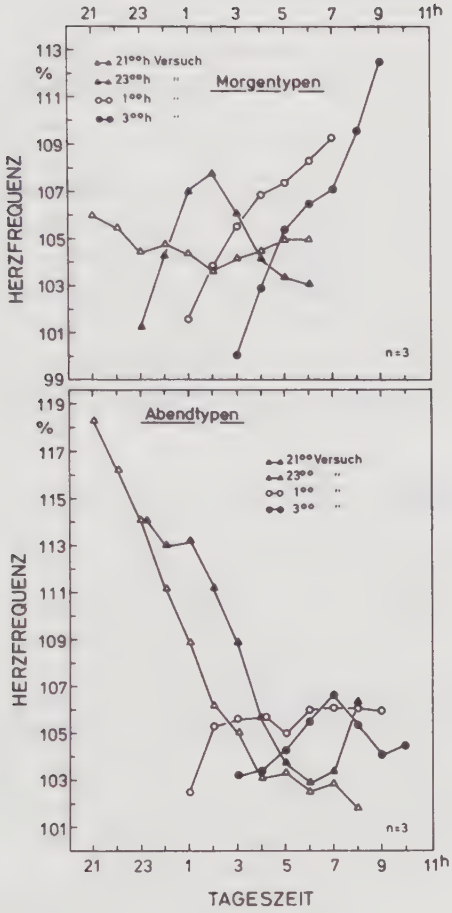


Abb. 6: Mittlere Verläufe der Herzfrequenz der je drei Morgen- (oben) und Abendtypen (unten) in den vier Versuchen mit unterschiedlicher Zubettgehzeit als Funktion der absoluten Tageszeit. Die Ordinaten sind in Prozent der individuellen Minima der Herzfrequenz innerhalb der Versuchszeiten aufgetragen.

c. Herzfrequenz und Rektaltemperatur

In Tabelle 3 werden die Zeitpunkte der individuellen nächtlichen Minima der Herzfrequenz denen der Rektaltemperatur gegenübergestellt.

Die Phasenbeziehung der beiden Funktionsgrößen weist sowohl zwischen den einzelnen Individuen als auch zwischen den vier Versuchsnächten jeder Probandin deutliche Unterschiede auf; eine Beziehung zur Verschiebung der vorgeschriebenen Zubettgehzeiten läßt sich jedoch nicht herstellen. Die Werte erlauben ebenfalls keine sichere Aussage über typenspezifische Unterschiede in der zeitlichen Übereinstimmung der Minima.

5. Herz- und Atemfrequenz im Schlaf

Die letzten beiden Schlafstunden der Probandinnen wurden von uns unter dem Gesichtspunkt einer Beeinflussung der spontanen nächtlichen Normalisierung der Frequenzkoordination von Herz- und Atemrhythmus durch die systematische Verschiebung der Zubettgehzeit untersucht. Zu diesem Vorgehen wurden wir durch Untersuchungen von ENGEL & Mitarb. (1970) sowie PÖLLMANN & HILDEBRANDT (1970) angeregt, in denen sich die Normalisierung der Frequenzabstimmung von Herzschlag und Atmung als guter Indikator für den Ordnungserfolg des Schlafes erwies. Für die quantitative Beurteilung der Normalisierung setzten wir einen Normbereich zwischen 3,8 und 4,2 fest. Die Puls-Atem-Quotienten von jeweils zehn Minuten wurden gemittelt.

Abb. 7 zeigt eine graphische Darstellung der individuellen prozentualen Häufigkeit normaler Puls-Atem-Quotienten in den letzten beiden Schlafstunden unter den Bedingungen der vier vorgegebenen Zubettgehzeiten (21.00; 23.00; 1.00 und 3.00 Uhr). Abendtyp Schö konnte in diese Abbildung nicht mitaufgenommen werden, da sie in allen Versuchen ausschließlich Puls-Atem-Quotienten größer als 5 bot. Sowohl die Morgentypen als auch die Abendtypen zeigen bei Verschiebung der Zubettgehzeit auf 23.00 und 1.00 Uhr eine Abnahme der prozentualen Häufigkeit

t	Zeitpunkt des mittleren Temp.-Minimums (h)		Zeitdifferenz zwischen Einschlafen und Temp.-Minimum (Std)	
	MT o	AT •	MT o	AT •
21.00	24.00	5.00	2	5
23.00	1.00	6.00	1,5	5,5
1.00	3.00	4.30	1,5	3,5
3.00	4.00	7.00	1	4

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Zeitpunkte der nächtlichen Minima der Rektaltemperatur in Abhängigkeit von der Zubettgehzeit und Vergleich der zeitlichen Differenz zwischen Einschlafzeit und Minimum der Körpertemperatur bei den beiden Phasentypen.

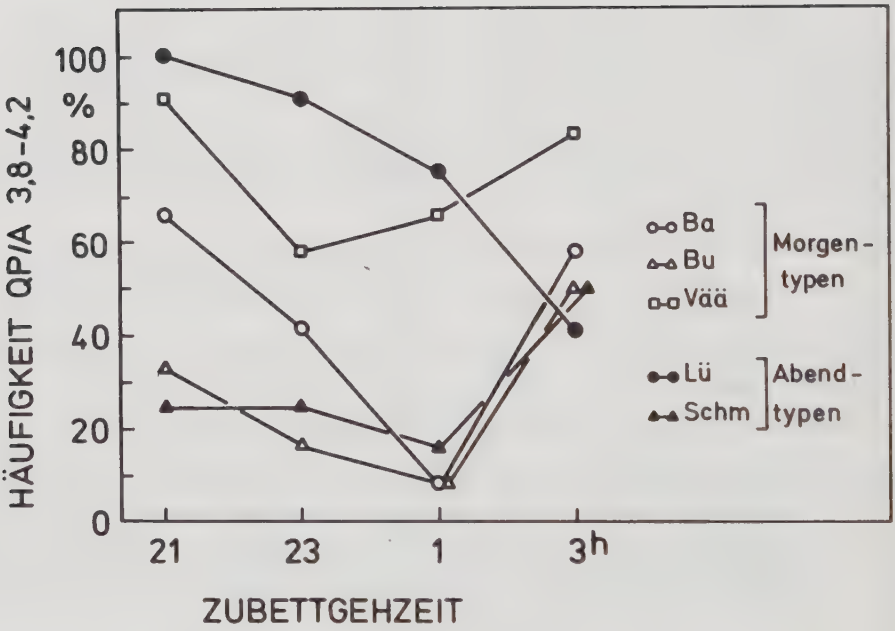


Abb. 7: Individuelle prozentuale Häufigkeit normaler Puls-Atem-Quotienten (Q P/A 3,8 - 4,2) während der jeweils letzten beiden Schlafstunden der Morgen- und Abendtypen in den vier Versuchen mit unterschiedlicher Zubettgehzeit. Aus der Gruppe der Abendtypen wurde die Probandin Schö. nicht berücksichtigt.

normaler Quotienten gegenüber dem Ausgangswert im 21.00 Uhr-Versuch. Der Abfall erfolgt bei den Morgentypen jedoch deutlich steiler. Im 3.00 Uhr-Versuch nimmt der Anteil innerhalb des Normbereichs liegender Puls-Atem-Quotienten bei beiden Typengruppen gegenüber dem 1.00 Uhr-Versuch zu (Ausnahme: Abendtyp Lü). Wiederum prägen die Morgentypen dieses Phänomen stärker aus.

Abb. 8 zeigt ergänzend exemplarisch die Häufigkeitsverteilung aller Quotientenwerte der letzten beiden Schlafstunden (x=12) bei einem Morgentyp (Ba) und einem Abendtyp (Lü).

Bei Morgentyp Ba ist die Verteilung nur im 21.00 Uhr-Versuch durch einen klaren Gipfel über dem Idealwert 4,0 charakterisiert. Eindrucksvoll erscheint im 1.00 Uhr-Versuch die fast vollständig fehlende Einstellung des Frequenzverhältnisses von Herz- und Atemrhythmus auf die ganzzahlige Norm von 4:1.

Bei Abendtyp Lü kommt es erst unter den Bedingungen des 1.00 und 3.00 Uhr-Versuchs zu einer deutlichen Rechtsverschiebung der Verteilung und damit verbundenen Abnahme der Häufigkeit normaler Werte.

6. Subjektive Vigilanz

Im Rahmen dieser Mitteilung sollen nur diejenigen drei Befindlichkeiten Erwähnung finden, bei deren Benotung durch die Versuchspersonen der Einfluß exogener Faktoren (negative oder positive Erfahrungen im soziologischen Umfeld) weitgehend vernachlässigt werden kann, da sie den überwiegend vitalen Aspekt der Vigilanz umschreiben (Nr. 2, 3 und 5 des Fragebogens; vgl. mit S. 16). Die polaren Adjektivgruppen können wir unter den Oberbegriffen Reaktionsbereitschaft (Nr.2), Motivation (Nr.3) und Energie (Nr.5) zusammenfassen.

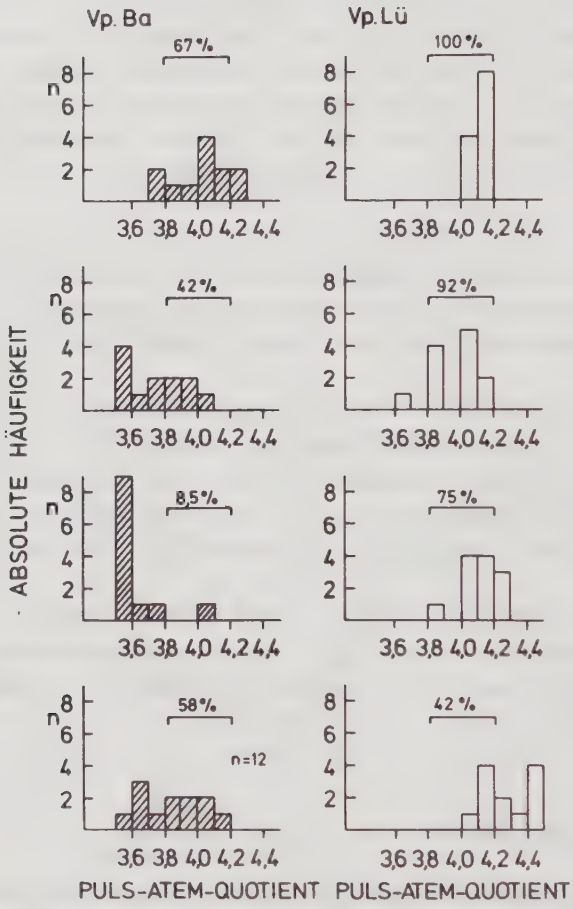


Abb. 8: Zwei Beispiele für die Häufigkeitsverteilung des Puls-Atem-Quotienten während der jeweils letzten beiden Schlafstunden in den vier Einzelversuchen mit unterschiedlicher Zubettgehzeit:

Oben: Zubettgehzeit 21.00 Uhr
Mitte oben: Zubettgehzeit 23.00 Uhr
Mitte unten: Zubettgehzeit 1.00 Uhr
Unten: Zubettgehzeit 3.00 Uhr

Die Prozentwerte über den Klammern geben jeweils die relative Häufigkeit normaler Quotientwerte (Q P/A 3,8 - 4,2) an.

a. Vigilanz bei Versuchsbeginn

Wie Abb. 9 zeigt, beurteilten beide Typengruppen ihre Vigilanz unter allen drei Aspekten sehr ähnlich; gemeinsam ist ihnen auch ein mit jeder weiteren Verschiebung des Versuchsbeginns in die Nacht hinein verbundenes Absinken des Vigilanzniveaus. Zu allen Versuchszeiten liegen die Vigilanznoten der Abendtypen deutlich und statistisch gesichert höher als die der Morgentypen; das Indifferenzniveau (Note 3) wird von ihnen überhaupt nur um 3.00 Uhr für die Teilbereiche 'Motivation' und 'Energie' geringfügig unterschritten. Während diese Individuen demnach überwiegend positive Selbsteinschätzungen vornehmen, siedeln die Morgentypen sich mit zwei Ausnahmen (mittlere 'Reaktionsbereitschaft' und 'Motivation' um 21.00 Uhr) stets im negativen Bereich der Skala (schlechter als 3) an. Bei der subjektiven Vigilanzbeurteilung vor dem 3.00 Uhr-Versuch wählten sie mit annähernd 5 (m= 4,83; s= 0,17) die schlechteste Note, welche die Skala überhaupt zuläßt.

b. Vigilanz am Tage nach den Versuchsnächten

Für Abb. 10 wurden die in dreistündigen Intervallen vorgenommenen Vigilanzbenotungen zu individuellen Tagesmittelwerten zusammengefaßt; auf dieser Basis wurde das mittlere Tagesvigilanzniveau der beiden Typengruppen an den vier Versuchstagen errechnet. Da für die drei ausgewählten Aspekte der Vigilanz (Nr. 2, 3 u. 5 des Fragebogens) in etwa übereinstimmende Noten vergeben wurden (Ausnahme s. unten), ist eine gemeinsame Besprechung erlaubt:

Beim 21.00 Uhr-Versuch lassen sich keine deutlichen Unterschiede im Vigilanzniveau beider Typengruppen feststellen; die Individualnoten streuen vergleichsweise geringfügig.

Bereits der 23.00 Uhr-Versuch führt zu einer sichtlich phasentyp-abhängigen Auftrennung der Vigilanznoten. Während die Abendtypen das Niveau des 21.00 Uhr-Versuchs halten, sinkt das mittlere Tagesniveau der Morgentypen deutlich ab.

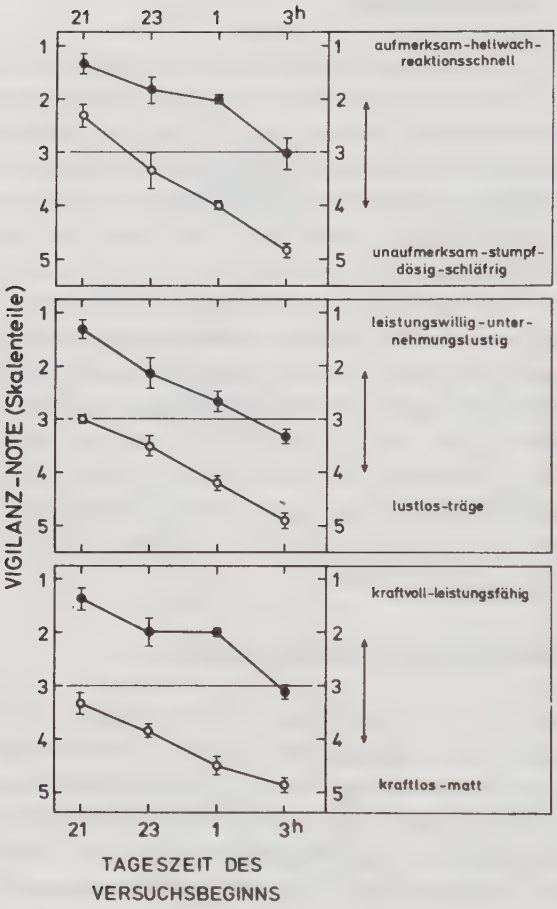


Abb. 9: Mittlere subjektive Vigilanznoten auf drei verschiedenen Skalen (oben - Mitte - unten) der je drei Morgen- und Abendtypen zu Beginn der vier Einzelversuche mit unterschiedlicher Zubettgehzeit. Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

o-----o Morgentypen

●-----● Abendtypen

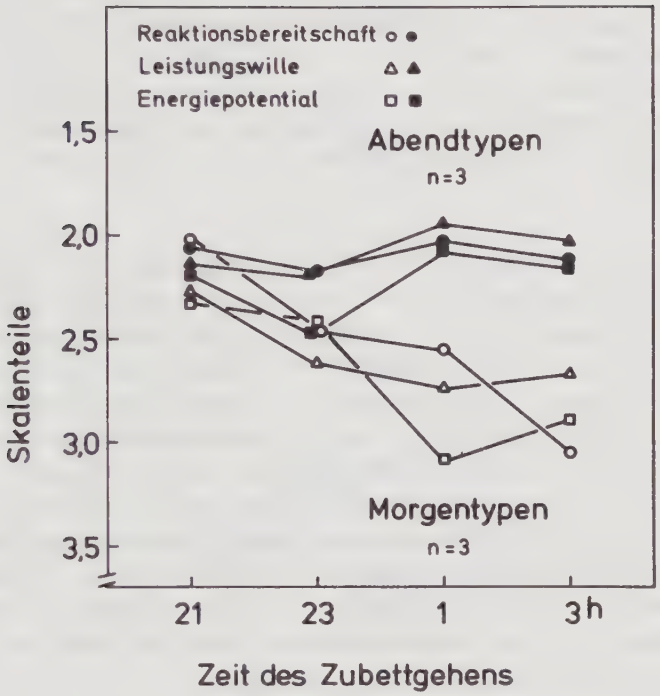


Abb. 10: Die durchschnittlichen Tagesmittelwerte der subjektiven Vigilanznoten auf drei verschiedenen Skalen am Tag nach den Versuchsnächten bei den Morgen- und Abendtypen.

Im 1.00 und 3.00 Uhr-Versuch bestätigt sich diese Tendenz. Das Vigilanzniveau der Abendtypen bleibt weiterhin unbeeinträchtigt von den Versuchsbedingungen, beim 1.00 Uhr-Versuch erscheint es sogar merklich angehoben. Bei den Morgentypen hingegen fällt das mittlere Tagesniveau in Abhängigkeit von der Verschiebung der Zubettgehzeit und der damit einhergehenden Schlafverkürzung immer mehr ab. Die gegenüber den vor Mitternacht beginnenden Versuchen größere Streuung in der Notengebung für die Teilaspekte der Vigilanz zeigt an, daß diese in unterschiedlichem Ausmaß durch die Versuchsbedingungen beeinflußt werden.

Abb. 11 liefert ergänzend Detailinformationen über den Tagesgang der subjektiven Vigilanz bei Veränderung des Schlaf-Wach-Rhythmus. Die mittleren Vigilanznoten der beiden Typengruppen für die den vier Versuchsnächten folgenden Tage sind als positive oder negative Abweichung vom individuellen Tagesmittelwert des 23.00 Uhr-Versuchs (entspricht Normalbedingungen) in Abhängigkeit von der Tageszeit aufgetragen. Um der Klarheit der Darstellung willen soll hier stellvertretend nur der Aspekt 'Energie' (Nr. 5 des Fragebogens) besprochen werden, dessen Benotungen zudem die geringste Streuung aufweisen. Diese Beschränkung erscheint außerdem aufgrund der tendenziellen Übereinstimmung mit den Tagesgängen der 'Reaktionsbereitschaft' (Nr.2) und 'Motivation' (Nr.3) zulässig.

Beim Morgentyp ist der Tagesgang der subjektiven Vigilanz nach der um 21.00 und 23.00 Uhr begonnenen Versuchsnacht gekennzeichnet durch ein frühmorgendliches Maximum, eine mittägliche Senke und einen bereits in den frühen Abendstunden einsetzenden Kurvenabfall. Für 24.00 Uhr liegen an keinem Versuchstag Vigilanznoten vor, da die drei Probandinnen stets früher zu Bett gingen. Auf die weitere systematische Verschiebung des nächtlichen Versuchsbeginns (1.00 und 3.00 Uhr) reagierten die Morgentypen sehr empfindsam mit einer zunehmend negativeren Selbsteinschätzung ihrer Vigilanz. Die Noten lagen bereits am Vormittag deutlich unter dem mittleren Niveau des Vergleichsversuchs (23.00 Uhr-Versuch), die Mittagssenke verstärkte sich, am Abend sank das Vigilanzniveau extrem ab. Die Probandinnen

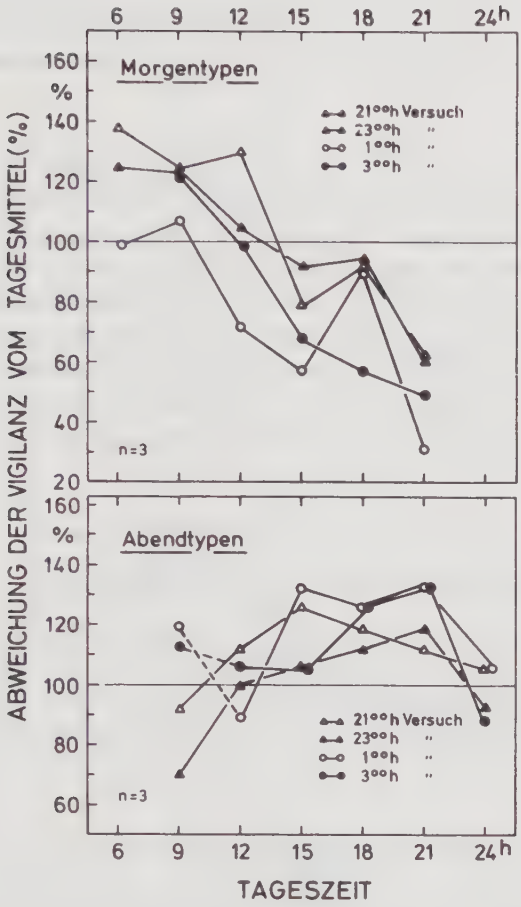


Abb. 11: Der mittlere Verlauf der subjektiven Vigilanznoten bei den je drei Morgen- (oben) und Abendtypen (unten) am Tage nach den vier Versuchsnächten mit unterschiedlicher Zubettgehzeit. Ordinaten in Prozent des mittleren individuellen Tagesniveaus.

Ba und Bu berichteten, am Nachmittag des 1.00 und 3.00 Uhr-Versuchs von einer derart starken Müdigkeit überfallen worden zu sein, daß sie sich für 1-2 Stunden zum Schlafen niederlegen mußten.

Die Vigilanznoten der Abendtypen bilden nahezu gegensinnige Tagesgänge. Die Kurven beginnen mit einem frühmorgentlichen Tiefpunkt und schwingen sich zu einem erst in der zweiten Tageshälfte liegenden Maximum auf; eine Mittagssenke fehlt. Zum Absinken der Vigilanz kommt es erst in den späten Abendstunden. Die Abendtypen erleiden im Gegensatz zu den Morgentypen keine Minderung ihres Vigilanzniveaus unter der Verschiebung des nächtlichen Versuchsbeginns; beim 1.00 und 3.00 Uhr-Versuch wird im Gegenteil ein auffallend höheres subjektives Vigilanzniveau erreicht.

7. Körpertemperatur am Tage nach den Versuchsnächten

In Abb. 12 ist der mittlere Tagesgang der Oraltemperatur beider Typengruppen für die vier Versuche dargestellt. Die Temperaturkurven der Morgentypen sind charakterisiert durch einen früheren und steileren morgendlichen Anstieg mit einem Maximum um 15.00 Uhr.

Bei den Abendtypen fällt der morgendliche Temperaturanstieg wesentlich flacher aus; der Tagesmaximalwert wird mit Ausnahme des 23.00 Uhr-Versuchs (15.00 Uhr) erst um 18.00 Uhr erreicht.

Ein Vergleich zwischen den Tagesgängen der einzelnen Versuche unter dem Gesichtspunkt einer durch die Versuchsbedingungen induzierten Phasenverschiebung der Maxima der Kurven läßt unseres Erachtens keine sichere Aussage zu. Wie aus Tabelle 4 ersichtlich, zeigen lediglich die Morgentypen Ba und Vää sowie der Abendtyp Schm eine gewisse Tendenz zur Vorverlegung bzw. Verzögerung des Maximums bei den späten Versuchen.

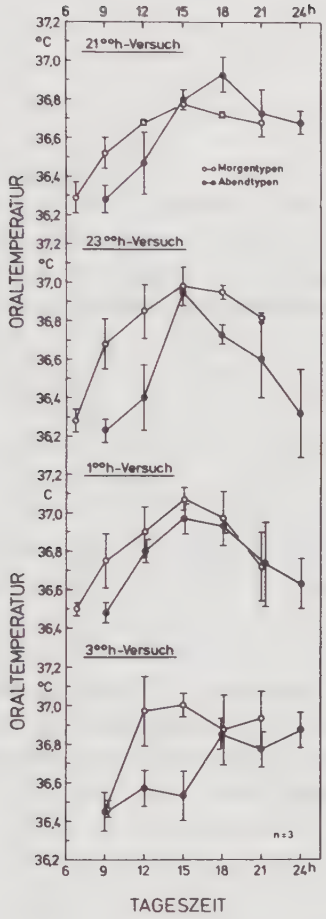


Abb. 12: Mittlere Tagesgänge der 3-stündlich kontrollierten Oraltemperatur am Tage nach den Versuchsnächten mit unterschiedlichen Zubettgehzeiten bei den je drei Morgen- und Abendtypen. Die Klammern bezeichnen den Bereich des mittleren Fehlers der Mittelwerte.

	Vp	Zubettgehzeiten 21.00	23.00	1.00	3.00
MT	Ba	15.00	15.00	12.00	12.00
	Bu	12.00	12.00	12.00	12.00
	Vää	18.00	18.00	15.00	15.00
AT	Lü	18.00	21.00	18.00	18.00
	Schm	15.00	15.00	15.00	18.00
	Schö	18.00	15.00	18.00	18.00

Tabelle 4: Zeitpunkt des Tagesmaximums der oral gemessenen Körpertemperatur bei Verschiebung des Nachtschlafes.

IV. DISKUSSION

1. Zur Methodik

a. Wahl der Versuchspersonen

Bei der Auswahl der Probandinnen für die hier vorgelegte Untersuchung waren wir uns darüber im klaren, daß die Aussagekraft der Ergebnisse entscheidend davon abhängen würde, inwieweit es sich zuverlässig um repräsentative Vertreter der beiden circadianrhythmischen Phasentypen handelte. Während andere Untersucher (ÖQUIST 1970; PÁTKAI 1970; ÖSTBERG 1972, 1973) sich zwecks Identifizierung markanter Morgen- und Abendtypen lediglich eines tagesrhythmischen Fragebogens bedienten, ergänzten wir diese subjektive Methode durch eine vorab durchgeführte objektive Bestimmung der individuellen circadianen Phasenlage im 24-Stunden-Ruheversuch (WERNER 1977). Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengestellt (vgl. auch Abb. 13 auf S. 59). Solcherart doppelt gesicherte Vorselektion erlaubte auch die zahlenmäßige Beschränkung auf nur drei Probandinnen jedes Phasentyps.

Drei Versuchspersonen wiesen sich durch gute Übereinstimmung von subjektiven (Typenindexzahl des tagesrhythmischen Fragebogens (HORNE & ÖSTBERG)) und objektiven Kriterien als extreme Morgentypen (Ba; Bu) bzw. Abendtypen (Lü) aus. Obgleich zwei Individuen (Schm; Schö) mit einem über fünf angehobenen Puls-Atem-Quotienten während der morgendlichen Aktivierungsphase zwischen 9.00 und 11.00 Uhr trotz sonst trophotroper Reaktionslage im Widerspruch zu dem von HILDEBRANDT (1953; 1960) gefundenen Zusammenhang standen, wurden sie dennoch aufgrund stark ausgeprägter subjektiver Verhaltenskriterien und einer charakteristischen circadianen Phasenlage der Körpertemperatur als Abendtypen ausgewählt (vgl. Tabelle 5). Versuchsperson Vää zeigt trotz ergotroper Reaktion auf die morgendliche Aktivierung durch einen nur mäßig über vier gesteigerten Quotientenwert der Puls-Atem-Frequenz eine gewisse Tendenz zur Typindifferenz an.

	Vpn	HORNE-ÖSTBERG-Index	Max. d. Oraltemp./ 24-Std-Versuch	Min. d. Oraltemp./ 24-Std-Versuch
Morgentypen	Ba	69	15.00	1.00
	Bu	79	12.00	1.00
	Vää	62	16.00	2.00
Abendtypen	Lü	29	21.00	5.00
	Schm	38	20.00	6.00
	Schö	36	20.00	6.00

Tabelle 5: Zusammenstellung der individuellen HORNE-ÖSTBERG-Indizes sowi
der Zeitpunkte des Minimums und des Maximums der Körpertemper
tur im 24-Stunden-Versuch unter standardisierten Ruhebedingun

Die in letzter Zeit von verschiedenen Seiten geäußerten Vermutungen über geschlechtsspezifische Unterschiede im circadianen Verhaltensmuster (FRÖBERG 1976; WENDT 1976) ließen es ratsam erscheinen, ein in bezug auf das Geschlecht homogenes Kollektiv zusammenzustellen. Wir sind uns darüber im klaren, daß wir, bedingt durch diese Einseitigkeit, streng genommen keine allgemeingültigen, sondern lediglich auf weibliche Individuen bezogene Aussagen über Morgen- und Abendtypen machen können.

b. Versuchsanordnung

In Studien über die Beziehung zwischen Schlafverhalten des Menschen und circadianer Rhythmik wird mit den Methoden des längerfristigen Schlafentzugs (MURRAY u. Mitarb. 1958; LOVELAND & WILLIAMS 1963; DRUCKER u. Mitarb. 1969; ALLUISI 1972), der Schlafunterbrechung und Schlafverkürzung (ASCHOFF u. Mitarb. 1972; RUTENFRANZ u. Mitarb. 1972; TAUB & BERGER 1976) sowie der zeitlichen Veränderung des Wach-Schlaf-Zyklus gearbeitet. Während für alle diese Untersuchungen (mit Ausnahme von TAUB & BERGER 1976 sowie WEBB & FRIEL 1970, die zwei Typengruppen aufgrund anamnestischer Erhebungen über die durchschnittliche Schlafdauer der Individuen zusammenstellten) keine Vorauswahl der Probandinnen in bezug auf deren individuelle circadiane Phasenlage getroffen wurde, sahen wir unsere Hauptaufgabe gerade in der Aufdeckung typabhängigen Extremverhaltens.

Bei den uns bekannten Versuchen mit Verschiebung der Zubettgehzeit handelt es sich entweder, wie bei FORT & MILLS (1976), um ein systematisch variiertes Verteilungsmuster definierter Schlafabschnitte über den Tag oder aber um einmalige Verlegung des Schlafbeginns um mehrere Stunden bzw. von der Nacht auf den Tag (VÖLKER 1927; TAUB & BERGER 1973, 1976 a+b). Für unsere Untersuchung wählten wir das Verschiebungsintervall mit zwei Stunden so niedrig, daß die vier Versuche sämtlich in dem nur geringfügig nach vorn und hinten erweiterten Bereich üblicher Zubettgehzeiten (22.00 - 2.00 Uhr) beginnen konnten. Dieses Vorgehen erschien uns besonders dazu geeignet, individuelle Reaktionsunterschiede deutlich werden zu lassen.

Um systematische Fehler durch eine vorbestimmte Reihenfolge der Einzelversuche ausschließen zu können, überließen wir in Erwartung zufälliger Variationen deren Festlegung jeder einzelnen Probandin. Wie Tabelle 6 zeigt, sind so individuell unterschiedliche Versuchsmuster entstanden. Bei den Morgentypen verrät die gewählte Reihenfolge jedoch ein gewisses Unbehagen gegenüber den späten, ihren Lebensgewohnheiten zuwiderlaufenden Versuchsbeginnen, bei den Abendtypen entsprechend gegenüber den frühen Terminen.

KLEITMAN u. Mitarb. (1937) werteten die Angaben von 25 Individuen, die ihre Schlafdauer über Monate protokollierten, aus und stellten dabei unter anderem fest, daß künstliche Beendigung des Schlafes durch Wecker etc. die mittlere Schlafdauer der Probanden um 35 Minuten gegenüber den Zeiten bei spontanem Erwachen verkürzte. Besonderen Wert legten wir deshalb darauf, daß die Schlafdauer der Versuchspersonen in keiner Weise, auch nicht indirekt durch Terminzwang am nächsten Morgen, limitiert wurde; denn nur bei Spontanerwachen erscheint es gerechtfertigt, Schlafdauer und Vigilanzniveau ursächlich mit der Tageszeit und der daran gekoppelten vegetativen Reaktionslage in Verbindung zu bringen.

Da es sich bei unseren Probandinnen um Studenten mit vergleichsweise geringer Abhängigkeit von sozialen Zeitgebern (flexible Zeiteinteilung) handelte, können wir wohl davon ausgehen, daß das Phänomen der erlernten Synchronisation des Erwachens mit einer bestimmten Tageszeit, die sogenannte Kopfuhr (CLAUSER 1950) als Störfaktor außer Acht gelassen werden kann.

Obgleich dem morgendlichen Licht-Dunkel-Wechsel nicht die dominierende Zeitgeberfunktion für den Menschen zugesprochen wird, wie sie für die Tierwelt vielfältig belegt ist, reagierte ein Teil unserer Probandinnen doch anfänglich mit leichter Verunsicherung auf das Fehlen des morgendlichen Aktivierungsreizes (ASCHOFF 1965a, 1966; ASCHOFF u. Mitarb. 1969; WEVER 1969, 1970, 1971; HILDEBRANDT 1973; GUNDLACH 1974). Sie vermißten vor allem die unter natürlichen Bedingungen bestehende Möglichkeit, anhand der Lichtverhältnisse zu ermessen, ob es

	Morgentypen → o ←				Abendtypen → ● ←		
t	Ba	Bu	Vää		Lü	Schm	Schö
21.00	I	I	II		II	III	IV
23.00	III	III	I		III	II	I
1.00	IV	II	III		I	I	III
3.00	II	IV	IV		IV	IV	II

Tabelle 6: Zeitliche Reihenfolge der vier Einzelversuche (I - IV), wie sie von jeder Versuchsperson frei gewählt wurde.

sich lediglich um eine kurze nächtliche Schlafunterbrechung oder aber um das regelrechte morgendliche Erwachen handelte.

Leider läßt unsere Versuchsanordnung, wobei die Individuen nur für jeweils einen Schlaf-Wach-Zyklus aus ihrer Normallage verschoben wurden, nur bedingt einen Schluß darüber zu, inwieweit die beobachteten Unterschiede in der Anpassungsfähigkeit der beiden Phasentypen lediglich unmittelbar bei Erstauslenkung aus dem gewohnten Tagesrhythmus auftreten oder aber auch dann weiterbestünden, wenn der induzierte Schlaf-Wach-Rhythmus über einen längeren Zeitraum beibehalten würde. Für eine Persistenz solcher phasentypabhängigen Differenzen sprechen unter anderem das von PATTERSON-DAHLGREN (1975) gefundene und im Sinne einer Selbstselektion interpretierte Überwiegen von Abendtypen unter Dauernachtarbeitern sowie die Ergebnisse einer in unserem Institut von STRATMANN (1979) an Dauernachtschwestern durchgeführten Untersuchung, wonach die als Morgentypen eingestuften Nachtwachen wesentlich mehr subjektive Beschwerden und stärkere innere Desynchronisation ihrer rhythmischen Funktionen aufwiesen. Diese Befunde sowie die gute statistische Sicherung unserer eigenen Ergebnisse können einen eventuellen Verdacht auf Zufälligkeit der Befunde hinreichend entkräften.

c. Untersuchungsmethoden

Der Anschluß der Versuchspersonen an einen polygraphischen Meßplatz ermöglichte fortlaufende einminütliche und synchrone Registrierung von Herz- und Atemfrequenz sowie der Körpertemperatur, so daß das Verhalten dieser vegetativen Funktionsgrößen während des Nachtschlafs vollständig erfaßt werden konnte.

Es wäre wünschenswert gewesen, die von einigen Untersuchern (ÖQUIST 1970; ÖSTBERG 1972, 1973; TAUB & BERGER 1976) berichteten Befunde über absolute Unterschiede im Niveau der Körpertemperatur zwischen Morgen- und Abendtypen in unseren Versuchen nachprüfen zu können. Aufgrund von Eichungsungenauigkeiten bei der Analog-Digitalumwandlung des Meßplatzes konnte jedoch nicht für alle Versuche dasselbe Ausgangsniveau garantiert werden.

Wie bereits weiter oben erwähnt, verließen wir bereits nach wenigen Vorversuchen aufgrund der negativen Reaktionen der Probandinnen das Verfahren der Kontrolle der Einschlaflatenzzeit über die Wechselsprechanlage zugunsten einer Verlaufsbeobachtung der (am Schreiber ausgedruckten) Herzfrequenz/min. Wir stützten uns dabei auf den seit langem in der Literatur bekannten Zusammenhang zwischen Schlafeintritt und Abfall der Herzfrequenz als Folge der Zunahme der parasympathischen Aktivität bei gleichzeitiger reziproker Verminderung des sympathischen Tonus (BOAS & GOLDSCHMIDT 1932; KLEITMAN 1939; BAUST 1970). Auf die in neuerer Zeit in vielen Fällen zur Bestimmung des Schlafeintritts angewendete EEG-Analyse verzichteten wir bewußt, um die Bequemlichkeit der Versuchspersonen, eine wesentliche Voraussetzung für ungestörten Schlaf, nicht durch weitere Meßfühler (EEG-Elektroden) einzuschränken. Zudem bestehen hinreichend Anhalte für eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen den auf beiderlei Weise bestimmten Einschlafzeitpunkten (BOND, BOHS, EBEY & WOLF 1973; WELCH & RICHARDSON 1973; RASCHKE, BOCKELBRINK & HILDEBRANDT 1976). Dies gilt insbesondere dann, wenn, wie in unserer Untersuchung, nur die Einschlaflatenzzeit, nicht aber die ausschließlich mittels des EEG objektivierbare Zeitspanne, die ein Individuum für den Übergang zwischen Wach- und Schlafzustand benötigt, erfaßt werden soll.
In nachfolgenden Untersuchungen sollte ergänzend dem Verhalten der Versuchspersonen während der Latenzzeit Beachtung geschenkt werden.

Da unser Hauptinteresse bei dieser Untersuchung auf den zeitlichen Aspekten des Schlafes, und damit seiner Rolle im Gesamtzusammenhang circadianer Rhythmik lag, beschränkten wir uns auf die Messung der elementaren vegetativen Funktionsgrößen während des Nachtschlafes und verzichteten auf mögliche zusätzliche Informationen über den Schlafcharakter wie Schlaftiefe, Häufigkeit der einzelnen Schlafstadien und objektive Schlafmenge; nicht zuletzt wurde auch hierbei die begrenzte Belastbarkeit der Versuchspersonen mit berücksichtigt. Eine

Beurteilung der subjektiven Schlafqualität durch die Probandinnen wurde leider nicht in standardisierter Form vorgenommen; es sei in diesem Zusammenhang jedoch auf die unterschiedlichen Vigilanzbewertungen direkt nach dem Erwachen bei Morgen- und Abendtypen verwiesen (vgl. Abschnitt 'subjektive Vigilanz').

Neben Versuchen zur Objektivierung der Vigilanz mit physiologischen Meßgrößen (COLQUHOUN 1960; OTTO 1964; FORT & MILLS 1976; TAUB & BERGER 1976) liegt ein breites Spektrum von Untersuchungen vor, die sich auf subjektive Einschätzungen der Probanden stützen (BAKAN 1963; THAYER 1967, 1970; DE FEE 1970; HAUTY & SMITH 1970; PÁTKAI 1970; FORT & MILLS 1976). Während verschiedene Autoren lediglich die Ergebnisse standardisierter Interviews oder Fragebogenaktionen, die unabhängig von einer physiologischen Versuchssituation vorgenommen wurden, übermitteln(HAMPP 1961; BAKAN 1963; PÁTKAI 1970; BRAASCH 1971), ging es uns darum, die unmittelbaren subjektiven Reaktionen der Probandinnen auf die systematischen Verschiebungen ihres Schlaf-Wach-Zyklus als Tagesgang der Vigilanz zu erfassen; und zwar nicht unter den künstlichen Bedingungen des "Labors", sondern während sie den alltäglichen Anforderungen ihres sozio-ökologischen Umfeldes ausgesetzt waren. Das unter diesen Umständen größere Risiko einer unserer Kontrolle sich entziehenden Beeinflussung der Vigilanzbeurteilung durch exogene (psycho-soziologische) Faktoren suchten wir durch Verwendung von Adjektiven, die überwiegend den vital-somatischen Aspekt der Vigilanz umschreiben, so gering wie möglich zu halten.

2. Zu den Ergebnissen

a. Einschlaflatenzzeit

Noch in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts sah man im Schlaf nicht mehr als ein passives "Entwachen" ("let-down", KLEITMAN 1939). Erst mit den grundlegenden Arbeiten von HESS (1924/25 u. 1948) setzte sich allgemein die Auffassung durch, daß der Schlaf Ausdruck einer vegetativen regulatorischen Einflußnahme mit der physiologischen Zielsetzung der Restitution der Körperkräfte und damit eine aktive Leistung des Organismus ist. HESS (1948) reihte den Schlaf in den sogenannten "trophotrop-endophylaktischen Funktionsbereich" ein. Von dieser klassischen Deutung leitet sich auch die Konzeption ASCHOFFs ab, der Wach- und Schlafsystem als wechselwirkende Partner, als unterschiedliche Ausdrucksweisen eines einheitlichen Schwingungsvorgangs, ansieht (ASCHOFF 1970).

Diese grundsätzlichen Überlegungen lassen vermuten, daß die von einem Individuum bevorzugte abendliche Zubettgehzeit nicht so sehr eine irgendwann angenommene Gewohnheit als vielmehr Ausdruck der zu einem bestimmten Zeitpunkt einsetzenden trophotropen Gesamtumstellung seines vegetativen Systems ist. Für die endogene Natur dieses Phänomens spricht auch die von ASCHOFF (1970) berichtete Beobachtung, daß Versuchspersonen, die sich während eines Bunkeraufenthaltes an keinerlei äußeren Zeitgebern orientieren konnten, kaum Unsicherheit über den für sie adäquaten Zeitpunkt des Zubettgehens zeigten.

Werden, wie in unserer Studie, einem Individuum verschiedene Zubettgehzeiten vorgeschrieben, so darf die von ihm jeweils benötigte Latenzzeit bis zum Einschlafen als direkter Indikator der vegetativen Reaktionslage, oder anders ausgedrückt, der inneren Bereitstellung des Organismus zur Ruhe angesehen werden.

Die von uns gewonnenen Ergebnisse lassen sich am besten beurteilen, wenn wir sie dem von JOHNSON (1928) an einer repräsen-

tativen erwachsenen Population, die ihre Zubettgehzeit frei wählte, ermittelten Durchschnittswert von 15 (9-25) Minuten Einschlaflatenzzeit gegenüberstellen:

Während die Morgentypen, abgesehen vom 21.00 Uhr-Versuch, mit ihren mittleren Latenzzeiten sämtlich innerhalb dieses Normbereiches liegen, fallen die Abendtypen bei den vor Mitternacht (21.00 u. 23.00 Uhr) beginnenden Versuchen mit signifikant höheren Einschlaflatenzzeiten auffallend stark aus ihm heraus. Das für die drei Abendtypen qualvolle überlange Warten auf den Schlaf ist zu verstehen als Folge einer Diskrepanz zwischen der noch ergotropen Gerichtetheit ihres vegetativen Systems und der auf Trophotropie zielenden Versuchssituation. Erst bei den Versuchen, die nach Mitternacht beginnen (1.00 u. 3.00 Uhr), sind exogene Forderung und Phasenlage des Organismus gleichgerichtet; der Schlaf tritt schnell ein. Unsere Ergebnisse bestätigen damit die von PATTERSON-DAHLGREN (1976) berichtete Beobachtung, daß aus einer Gruppe von Arbeitern, die aufgrund ihrer Einteilung zur Frühschicht bereits in den frühen Abendstunden zu Bett gingen, gerade diejenigen über große Einschlafschwierigkeiten klagten, die anhand eines Fragebogens (ÖSTBERG & HORNE 1976) als Abendtypen identifiziert worden waren.

In unseren Versuchen bereitete es den durch frühabendlich einsetzende Ermüdung charakterisierten Morgentypen dagegen kaum Probleme, sich an die auch von ihren Gewohnheiten abweichende frühe Zubettgehzeit um 21.00 Uhr anzupassen, mußten sie sich dabei doch nur der ohnehin bereits eingeleiteten trophotropen Tonisierung überlassen. Wird ihnen dagegen von außen die Verlängerung ihrer Wachzeit aufgezwungen, gelingt es ihnen nur durch große Willensanstrengung, sich entgegen dem steilen Abfall ihrer Aktivitätskurve munter zu halten.

Unsere Befunde zeigen, daß die individuelle circadiane Phasenlage deutlichen Einfluß auf den von KLEITMAN (1939) und OSWALD (1962) dargestellten und inzwischen mehrfach bestätigten (THAYER 1967, 1970) Tagesgang der Aktivität ("general bodily

activation") nimmt, und zwar so, daß extreme Phasentypen ihn mit einer um mehrere Stunden gegeneinander verschobenen Phase durchlaufen. Während die Morgentypen sich in den frühen Abendstunden bereits auf dem abfallenden Schenkel ihrer Aktivitätskurve bewegen, erreichen die Abendtypen eben erst das Tagesmaximum. Erst gegen Mitternacht sinkt bei ihnen das Aktivitätsniveau in einen Bereich ab, der eine vegetative Umstellung auf die Ruhephase zuläßt.

ÖQUIST (1970) und ÖSTBERG (1972) befragten ausgewählte Morgen- und Abendtypen (Studenten bzw. Computer-Techniker) über ihre gewohnte bzw. bevorzugte Zubettgehzeit und fanden übereinstimmend frühere Zeiten für die Morgentypen, längere Ausdehnung der abendlichen Aktivität bei den Abendtypen. Diese rein anamnestisch gewonnenen Befunde werden durch unsere Experimente objektiviert und auf eine physiologische Basis gestellt.

b. Schlafdauer

Mit Entwicklung und Heranreifung des Neugeborenen zum erwachsenen Menschen sind charakteristische Veränderungen im Schlafverhalten verbunden. So ziehen sich die vielen, über den ganzen Tag verteilten Schlafperioden beim Säugling im Laufe der ersten Monate und Jahre des Lebens zu einer einzigen zusammenhängenden, in die Dunkelzeit fallenden Schlafphase zusammen (FORSTER 1929; KLEITMAN & ENGELMANN 1953; HELLBRÜGGE 1960; MORATH 1974). Deren Dauer verkürzt sich mit zunehmendem Lebensalter, wobei die geringsten Zeiten jenseits des 40. Lebensjahres erreicht werden (BEST & TAYLOR, 1964; TUNE 1969). Für junge Erwachsene wird in der Literatur mit geringen Schwankungen je nach Autor eine mittlere Schlafdauer von 7,40 - 7,72 Stunden angegeben (KLEITMAN 1939; TUNE 1969; WEBB 1971). Bereits KLEITMAN (1939) fiel auf, daß die Schlafzeiten der Einzelpersonen keineswegs nach Art einer GAUSS'schen Normalverteilung um den Mittelwert streuen, vielmehr deutliche Häufigkeitsgipfel in einem Bereich über neun sowie unter sieben Stunden ausbilden.

Diese auffälligen interindividuellen Unterschiede waren Anlaß

für eine ganze Reihe von Untersuchungen, durchgeführt in dem Bestreben, das Schlafverhalten bestimmten physischen, psychischen oder mentalen Eigenschaften zuzuordnen.

Während ein Zusammenhang zwischen Schlafdauer und Intelligenz bisher nicht überzeugend nachgewiesen werden konnte (CLÉMENT & BOURLIÈRE 1961; TUNE 1969; WEBB & FRIEL 1970), liegen uns mehrere sich deckende Befunde über eine Verbindung zwischen der Persönlichkeitsvariablen Introversion und Kurzschlaf sowie Extraversion und Langschlaf vor (BLAKE 1965; TUNE 1969 a+b).

Unsere eigenen Untersuchungen, für die es unseres Wissens in der Literatur bisher keine direkten Vergleichsmöglichkeiten gibt, decken eine klare Abhängigkeit zwischen Schlaf und vegetativer Reaktionslage bzw. Phasenlage der circadian-rhythmischen Funktionen auf:
Die Morgentypen erwachten bei den um 21.00, 23.00 und 1.00 Uhr begonnenen Versuchen jeweils in etwa zur selben frühen Morgenstunde (m = 6.40; 6.40; 7.10 Uhr), wodurch sie eine empfindliche Einbuße an Schlafzeit erlitten. Erst bei Verlängerung der Aktivitätszeit bis 3.00 Uhr überschritten sie deutlich die "Schallmauer" von 7.00 Uhr, erreichten jedoch selbst unter diesen extremen Bedingungen nur eine Schlafdauer von knapp 6 Stunden. Offensichtlich sind sie nicht oder nur höchst mangelhaft in der Lage, eine Verspätung der Zubettgehzeit über entsprechende Ausdehnung des Nachtschlafs auf den Vormittag auszugleichen. Diese gering ausgeprägte schnelle Adaptationsfähigkeit läßt sich durch die diesen Phasentyp kennzeichnende hohe Bereitschaft zu maximaler reaktiver Beantwortung der morgendlichen Aktivierung erklären (HILDEBRANDT 1976), die einem Verharren im trophotropen Schlafzustand entgegenwirkt.

Dieser Zusammenhang geht auch aus Abb. 13 hervor, in der die mittleren Schlafdauern und die aus dem 24-Stunden-Ruheversuch gewonnenen mittleren Tagesgänge der Oraltemperatur über der gleichen Zeitachse aufgetragen sind: Die frühen Aufwachzeiten korrelieren mit einem steilen Anstieg der Körpertemperatur in der ersten Hälfte des Tages als Ausdruck der schnell zunehmen-

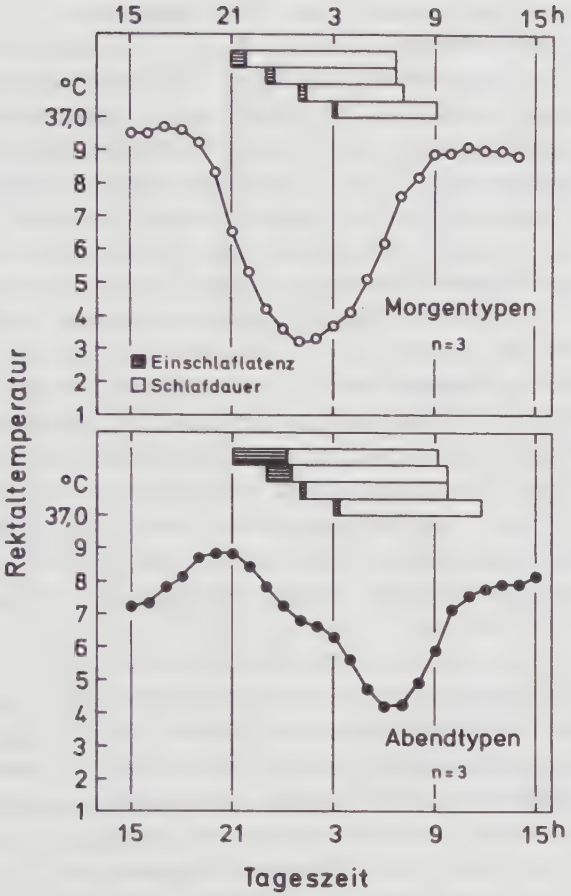


Abb. 13: Die mittleren Tagesgänge der Rektaltemperaturen bei den je drei Morgen- (oben) und Abendtypen (unten) während eines 24-Stunden-Versuches unter standardisierten Ruhebedingungen in der Klimakammer. In beide Abbildungsteile sind ausserdem zum Vergleich die mittleren Einschlaflatenzen und spontanen Schlafdauern in den vier Einzeluntersuchungen mit unterschiedlichen Zubettgehzeiten eingezeichnet.

den ergotropen Leistungseinstellung des Organismus.

Für die Gruppe der Abendtypen, die aufgrund ihres abendlichen Aktivitätsmaximums ohnehin bevorzugt erst nach Mitternacht zu Bett gehen, bedeutete nur der 3.00 Uhr-Versuch eine ungewohnte Verlängerung der Wachzeit. Trotz der späten Einschlafzeiten erreichten die Abendtypen bei allen vier Versuchen über neun- bzw. achtstündige und damit gegenüber den frühreaktiven Morgentypen signifikant höhere Schlafdauern. Die Verlegung der Zubettgehzeit auf 3.00 Uhr wurde von den Probandinnen Lü und Schm mühelos durch entsprechende Ausweitung des Nachtschlafs auf den späten Vormittag ausgeglichen. Die insgesamt im Verhältnis zu den Morgentypen zeitlich verschobene und verlängerte Schlafphase der Abendtypen hängt nach unserer Auffassung ursächlich damit zusammen, daß die morgendliche Aktivierung von diesen Individuen nur mit einer niedrigen Amplitude der reaktiven Periode (HILDEBRANDT 1960) beantwortet wird und so mehr Spielraum für adaptive Verhaltensweisen gegeben ist (vgl. hierzu Abb. 13).

FORET & LANTIN (1972) ziehen aus einer Untersuchungsreihe über das Schlafverhalten von Lokomotivführern den Schluß, daß die Schlafdauer, bei normalem Nachtschlaf ebenso wie bei Tagschlaf nach Nachtarbeit, eine nahezu linear verlaufende inverse Funktion der Zubettgehzeit darstellt. Die untersuchten Lokführer wachten stets gegen Mittag auf, zu welcher Zeit auch immer sie zu Bett gingen. Auf dem Hintergrund unserer eigenen Erhebungen (die allerdings an Individuen mit normaler Lebensweise vorgenommen wurden) scheint uns jedoch eine Differenzierung nötig: Eine aufgezwungene Verschiebung der Ruhezeit führt nur dann zu einem Schlafdefizit, wenn der in Abhängigkeit von der individuellen circadianen Phasenlage enge oder weite Bereich adaptiver Kapazität überschritten wird.

Die größere Flexibilität der Abendtypen zeigt sich auch in der Alltagserfahrung darin, daß diese, den Forderungen der Arbeitswelt gehorchend, durchaus in der Lage sind, ihre Aktivitätszeit zu einer früheren Morgenstunde zu beginnen, dann allerdings nicht spontan rechtzeitig erwachen.

Zu dieser größeren Flexibilität paßt auch das Ergebnis einer von WEBB & FRIEL (1970) an Collegestudenten durchgeführten Befragung über ihre durchschnittliche Schlafdauer: Als er "Langschläfer" (9,5 Std.) und "Kurzschläfer" (6,5 Std.) des Kollektivs drei Monate später interviewte, befand sich unter den "Langschläfern" ein wesentlich höherer Prozentsatz an Individuen, die ihre Schlafdauer nicht beibehalten hatten. Es gelang WEBB & FRIEL in dieser Studie allerdings nicht, zwischen den Individuen einer Extremgruppe Gemeinsamkeiten in weiteren physiologischen oder psychologischen Variabeln zu entdecken.

ÖSTBERG (1972) hingegen fand in einer Studie an Schichtarbeitern eine gute Korrelation zwischen Abendtyp und langer Schlafzeit sowie entsprechend Morgentyp und Kurzschlaf. Die Ergebnisse unseres um 23.00 Uhr, in Entsprechung zur durchschnittlichen Zubettgehzeit der städtischen Bevölkerung, begonnenen Versuchs können als experimentelle Sicherung der nur anamnestisch gewonnenen Befunde ÖSTBERGs gelten. Gegen diese Feststellung spricht unseres Erachtens auch nicht die zwar phasenverschobene aber nahezu gleichlange mittlere Schlafdauer beider Phasentypen beim 21.00 Uhr-Versuch. Diesen Befund möchten wir stattdessen damit erklären, daß bei den Morgentypen die ohnehin bereits am frühen Abend einsetzende trophotrope Ausrichtung der vegetativen Reaktionslage unter den aufgezwungenen Ruhebedingungen des Versuchs gefördert wurde, es sich demzufolge wohl eher um ein "Schlaf-Plus" handelt.

c. Körpertemperatur

Der von uns unter Berücksichtigung der subjektiven Bewertung getroffenen Einteilung der Versuchspersonen in Morgen- und Abendtypen entspricht, wie aus Abb. 13 ersichtlich, eine klare zeitliche Auftrennung der Extremlagen der Circadianrhythmik der Oraltemperatur im 24-Stunden-Ruheversuch. Das Tagesmaximum wird von den beiden Reaktionstypen mit einer vierstündigen Phasendifferenz, das nächtliche Minimum mit einem Zeitabstand von fünf Stunden durchlaufen.

Diese Befunde stehen in Einklang mit denen von KLEITMAN (1939), ÖSTBERG (1973) sowie ÖSTBERG & HORNE (1975). Die letzteren konnten außerdem zeigen, daß die psychologische Dimension Introversion-Extraversion, in der einige Forscher (COLQUHOUN 1960; BLAKE 1967; TUNE 1969) das dominierende Prinzip bei interindividuellen Differenzen der menschlichen Circadianrhythmik sehen, zu keiner signifikanten zeitlichen Aufgliederung der Extrema des Temperaturtagesgangs führt.

Auch in allen vier Schlafversuchen fanden wir eine Bestätigung für eine solche charakteristische Phasenverschiebung der Temperaturkurve dahingehend, daß die Morgentypen das nächtliche Minimum vor dem physiologischen Wendepunkt um 3.00 Uhr (HILDEBRANDT 1962) erreichten (ausgenommen beim 3.00 Uhr-Versuch), die Abendtypen erst gegen Morgen.
Außerdem fällt auf, daß die Körpertemperatur der Morgentypen entsprechend ihrer ergotropen Reaktionslage nach Erreichen des nächtlichen Minimums steil ansteigt, die Temperaturkurve der trophotrop eingestellten Abendtypen sich hingegen nur allmählich flach zum Tagesmaximum aufschwingt (vgl. Abb. 4 auf S.28).

Morgen- und Abendtypen scheinen nicht nur durch eine Phasendifferenz, sondern auch durch Niveauunterschiede im circadianen Rhythmus ihrer Körpertemperatur gekennzeichnet zu sein. PÁTAKI (1970) registrierte bei Abendtypen höhere Temperaturwerte während der Abendmessung (21.00 - 22.00 Uhr) als während der Morgenmessung (9.00 - 10.00 Uhr), bei den Morgentypen jedoch keine deutlichen Niveauunterschiede.

Unsere eigenen Ergebnisse, gewonnen im 24-Stunden-Ruheversuch (vgl. Abb. 13), passen hingegen gut zu denen von ÖQUIST (1970), der bei einer Gruppe von Morgentypen niedrigere Temperaturen beim Zubettgehen und höhere Werte nach dem morgendlichen Erwachen maß. Diese Beobachtungen erklären sich nach unserer Auffassung mit der ausgeprägt ergotropen bzw. trophotrop-gedämpften Reaktionslage der beiden Phasentypen.

Seit langem ist bekannt, daß mit dem Einschlafen ein Abfall der Körpertemperatur (0,16°C nach BAUST 1970) verbunden ist (KLEITMAN 1939; MAGNUSSEN 1939; MELLETTE u. Mitarb. 1951; BAUST 1970). Dieses Phänomen wird in unserer Untersuchung praktisch nur am Kurvenverlauf der Abendtypen in den vor Mitternacht beginnenden Versuchen deutlich; ihre Körpertemperatur sinkt erst nach Mitternacht parallel zur trophotropen Umstellung des Vegetativums kontinuierlich ab. Bei den Morgentypen tritt diese Umstellungsreaktion nicht merkbar hervor, da sie sich bei Meßbeginn stets bereits auf dem absteigenden Schenkel ihrer Temperaturkurve bewegten.

In vergleichenden Studien über die Tagesgänge der Körpertemperatur von künstlich wachgehaltenen Individuen und denen von Menschen mit normalem Schlaf-Wach-Zyklus hat sich gezeigt, daß die Tagesrhythmik bei Schlafentzug zunächst unverändert weiterläuft (MURRAY u. Mitarb. 1958; ASCHOFF 1970; BAUST 1970). Wie vielfach belegt werden konnte, stellt sich der endogene Temperaturrhythmus auf Veränderungen des Schlaf-Wach-Zyklus (z.B. durch Schichtarbeit) erst nach einer Latenzzeit von mehreren Tagen ein (MENZEL 1962; CONROY & MILLS 1970; RUTENFRANZ u. Mitarb. 1972). Das Ausmaß seiner Adaptation gilt dann aber auch als verläßlicher Indikator für die individuelle Verträglichkeit eines unnormalen Aktivitätszyklus. Da es sich hierbei also um einen Langzeiteffekt handelt, darf es nicht verwundern, daß, wie in unserem Falle, einmalige Verschiebungen der Zubettgehzeit und insbesondere das dadurch induzierte Schlafdefizit bei den Morgentypen keine eindeutig zu sichernde Wirkung auf den rhythmischen Verlauf der Oraltemperatur am darauffolgenden Tag entfalten. Zwar bieten die Morgentypen Ba und Vää bei den späten Versuchen (1.00 u. 3.00 Uhr) eine Vorverlegung des Tagesmaximums um ein Meßintervall, bei den mit drei Stunden relativ großen Abständen zwischen den Meßterminen erscheint es uns jedoch zu unsicher, von einer echten, durch die Versuchsbedingungen induzierten Phasenverschiebung zu sprechen.

Ebensowenig können wir aus unseren Daten eine Qualitätsänderung der tagesrhythmischen Dynamik im Sinne einer Abnahme des

mittleren Niveaus (MURRAY u. Mitarb. 1958) oder einer Verminderung der Schwingungsbreite, wie von ASCHOFF (1970) beschrieben, mit Sicherheit ablesen.

d. Herzfrequenz

HILDEBRANDT (1953; 1960; 1967) fügte die verschiedenen rhythmischen Erscheinungen zu einem Gesamtbild rhythmischer Funktionsordnung zusammen und konnte dabei deutlich machen, daß jede Einzelfunktion in einem polaren Spannungsfeld von Leistungs- und Ordnungszusammenhängen steht. Gerade am Tagesrhythmus der Herzfrequenz wird diese zweifache Zuordnung besonders auffällig: Zum einen besteht eine lineare Beziehung zwischen Frequenz und Beanspruchung der Funktion, d.h., eine leistungsbezogene Frequenzmodulation, was schnelle Anpassungen an zeitliche Verschiebungen des Aktivitäts-Ruhe-Zyklus, wie sie z.B. Nacht- und Schichtarbeit mit sich bringen, hinreichend erklärt (CONROY & MILLS 1971); zum anderen erfährt die Herztätigkeit während des Schlafes, oder allgemeiner ausgedrückt, in allen trophotropen Situationen des Lebens, eine Intensivierung der koordinativen Ordnungsbeziehung zur Atmung auf der Grundlage des biologischen Prinzips der ganzzahligen Frequenzabstimmung (HILDEBRANDT 1953; 1960; 1967; 1970).

Seit langem ist bekannt, daß die Herzfrequenz während des Nachtschlafs, als Ausdruck stark verminderter Leistungsbeanspruchung, auf den Tagesminimalwert absinkt (KLEITMAN 1939; KLEITMAN & RAMSAROOP 1948; ADKINS 1964; BAUST 1970). Der Zeitpunkt, zu dem das Minimum der Ruhepulsfrequenz erreicht wird, sowie das Ausmaß der morgendlichen Aktivierungsreaktion stehen, wie HILDEBRANDT (1960; 1976) belegen konnte, unter dem Einfluß der individuellen vegetativen Reaktionslage. Obgleich die Größe unserer beiden Typengruppen und damit die Anzahl der durchgeführten Versuche für die Beurteilung einer so variablen Funktionsgröße wie der Herzfrequenz sehr gering erscheinen, schlägt sich diese Beziehung doch auch in unseren Ergebnissen nieder. Der hohe abendliche Aktivitätsgrad der Abendtypen spiegelt sich bei den frühen Versuchen (21.00 u. 23.00 Uhr) in

einer noch weit über dem nächtlichen Minimalwert liegenden Pulsrate wider; das nächtliche Frequenzminimum tritt in allen vier Versuchen mit Verspätung ein. Auch der nur mäßige Frequenzanstieg in den frühen Morgenstunden zeugt von der stärker gedämpften Reaktionslage dieser Individuen.

Bei den Morgentypen zeigt die geringfügige Differenz zwischen nächtlichem Tiefstwert und Pulsfrequenzniveau bei Versuchsbeginn (21.00 u. 23.00 Uhr) das bereits deutliche Überwiegen des parasympathischen Tonus an. Das Tagesminimum wird entsprechend früher erreicht bzw. ist bei den späten Versuchen (1.00 u. 3.00 Uhr) identisch mit dem Frequenzwert der ersten Meßstunde. Der steile Kurvenanstieg bei diesen Versuchen mag ein Abbild der bereits einsetzenden ergotropen Ausrichtung der Funktion sein.

War die Tauglichkeit der Herzfrequenz für die Beurteilung der Schlafstadien und damit der Schlafqualität bis in die jüngste Zeit in der wissenschaftlichen Diskussion sehr umstritten (BOAS & GOLDSCHMIDT 1932; SUCKLING u. Mitarb. 1957; BAUST & BOHNERT 1969), mehren sich mittlerweile Studien, die einen diesbezüglichen Zusammenhang wahrscheinlich machen (BOND u. Mitarb. 1973; WELCH & RICHARDSON 1973; RASCHKE u. Mitarb. 1976). So erscheint es uns naheliegend, in dem völlig atypischen mittleren Kurvenverlauf der Morgentypen bei Verschiebung des Beginns der Ruhezeit auf 1.00 Uhr und 3.00 Uhr ein Zeichen für verminderte Schlafgüte (Erholungsdefizit) zu erblicken.

e. Frequenzkoordination von Herzschlag und Atmung während des Schlafes

HILDEBRANDT (1953; 1960; 1967) stellt den Nachtschlaf als trophotrope Ordnungsphase der ergotropen Leistungsphase des Wachzustandes gegenüber. Unter Ruhebedingungen kommt es, als Zeichen ablaufender Erholungs- und Neuordnungsprozesse, zu einer Intensivierung rhythmischer Koordinationen, wie sie sich in ganzzahligen Frequenzabstimmungen ausdrücken. So stellt

sich das Frequenzverhältnis von Herz- und Atemrhythmus, das während der Aktivitätszeit in Abhängigkeit von der vegetativen Reaktionslage eine große Streuungsbreite aufweist, wie HILDEBRANDT (1953) erstmals zeigen konnte, im Laufe des Nachtschlafes auf die ganzzahlige Norm 4:1 ein. Das Maximum dieser sogenannten Normalisierung der rhythmischen Funktionsordnung von Herzschlag und Atmung wird charakteristischerweise in den beiden letzten Schlafstunden erreicht. Da sich in zahlreichen Nachprüfungen dieses Befundes, auch durch andere Autoren (HILDEBRANDT 1960; STORCH 1967; ENGEL u. Mitarb. 1970; PÖLLMANN & HILDEBRANDT 1970; PÖLLMANN 1972), die Häufigkeit normaler Puls-Atem-Quotienten auch als Indikator des Erholungserfolges im Nachtschlaf erwiesen hat, rechneten wir damit, mögliche Unterschiede in der adaptativen Fähigkeit der von uns untersuchten Extremtypen an einer verminderten Normalisierung der Frequenzkoordination infolge der verschobenen Zubettgehzeiten ablesen zu können.

Bei Abendtyp Schö führte der Nachtschlaf scheinbar nie zu einem Ordnungserfolg, da sie in allen vier Versuchen Puls-Atem-Quotienten größer 5 bot; Morgentyp Bu zeigte eine Tendenz zu Quotientenwerten kleiner als 3,5. Für die Diskussion dieser abweichenden Verhältnisse bietet sich die in unserer Arbeitsgruppe durch neuere Befunde angeregte Überlegung an, daß bei einzelnen Individuen die normale Frequenzkoordination nicht bei 4:1, sondern in einem darüber bzw. darunter liegenden (ganzzahligen) Bereich anzusiedeln sei.

ENGEL u. Mitarb. (1970) stellten in Versuchen mit Umkehr der Lebensweise einen deutlichen Abfall der Häufigkeit normaler Puls-Atem-Quotienten im Tagschlaf fest. Die Mehrzahl der Morgentypen reagierte in unserer Untersuchungsreihe bereits auf vergleichsweise geringfügige Verschiebungen ihrer gewohnten Zubettgehzeit mit einer starken prozentualen Abnahme normaler Quotientenwerte in den letzten Schlafstunden. Damit zeigen sie eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Auslenkungen ihrer Tagesrhythmik im Sinne eines Erholungsdefizits an.

Bei den Abendtypen Lü und Schm fallen im 1.00 und 3.00 Uhr-Versuch, obgleich sich insbesondere im ersteren Falle keine subjektiven oder objektiven Anzeichen für ein Erholungsdefizit bemerkbar machten, gleichfalls gegenüber den vor Mitternacht beginnenden Versuchen deutlich weniger Quotientenwerte in den Normbereich. Da eine statistische Sicherung dieses Befundes aufgrund der niedrigen Probandenzahl nicht gewährleistet ist, soll seine Deutung offen bleiben. Zu diskutieren wäre unter anderem die Frage, inwieweit der Anstieg der Herzfrequenz im Laufe des Vormittags für die Veränderung der Häufigkeitsverteilung in den letzten beiden Schlafstunden (9.30 - 11.30 Uhr) verantwortlich zeichnet.

f. Subjektive Vigilanz

Das wachsende Interesse an circadianrhythmischen Phänomenen erstreckt sich zunehmend auch auf den Bereich psychologischer Persönlichkeitsvariabeln. In einer von HAMPP (1961) durchgeführten Befragung bezeichneten sich über 50% eines größeren Kollektivs selbst als "Rhythmiker" in bezug auf Stimmung und Antrieb, wobei 35% ein Vigilanzmaximum am Abend, 20% am Morgen angaben. Auch die Befunde verschiedener anderer Autoren (BLAKE 1965, 1967; HAUTY & SMITH 1970; ÖQUIST 1970; PÁTKAI 1970, 1971; HILDEBRANDT 1976) zeigen gute Übereinstimmungen zwischen der anhand objektiver Messung physiologischer Funktionen festgelegten circadianen Phasenlage eines Individuums und seiner Selbsteinschätzung als Morgen- oder Abendtyp. So beurteilten Industriearbeiter, die PÁTKAI (1971) anhand eines Tagesgangs der Katecholaminausscheidung und der Körpertemperatur als Morgentypen klassifiziert hatte, ihre Leistungsbereitschaft und Konzentrationsfähigkeit am höchsten in den frühen Morgenstunden, sogenannte "evening-workers" dagegen erlebten das Tagesoptimum dieser Qualitäten in den Abendstunden.

Die von unseren Probandinnen unter den einer normalen Lebensweise entsprechenden Bedingungen des 23.00 Uhr-Versuchs vorgenommenen Vigilanzbewertungen ergeben ebenfalls Tagesgänge, die charakteristische Merkmale des jeweiligen Phasentyps auf-

weisen (siehe hierzu Abb. 11 auf S. 43). Beim Morgentyp findet die intensive morgendliche Aktivierungsreaktion im vegetativen Bereich ihre Entsprechung in einem vormittäglichen Vigilanzgipfel; ebenso bildet sich die bei diesem Phasentyp frühabendlich einsetzende vegetative Regulationstendenz zu trophotroper Einstellung des Organismus in einem steilen Abfall der Vigilanzkurve ab. Demgegenüber nimmt die subjektive Vigilanz der Abendtypen ausgehend von einem frühmorgendlichen Tiefpunkt erst mit dem Tagesverlauf zu und erreicht den Spitzenwert in den Abendstunden.

Beachtenswerter als diese bereits ausführlich an anderer Stelle (HILDEBRANDT 1976; WERNER 1977) erörterten Gegebenheiten erscheint uns die gerade am Parameter Vigilanz deutlich werdende wechselseitige Beeinflussung von Schlafverhalten und individueller Phasenlage der Circadianrhythmik zu sein. Prägt zum einen der Phasentyp, wie unsere Versuche belegen, die zeitliche Einordnung und Länge der Schlafphase innerhalb des 24-Stunden-Zyklus, so kann zum anderen der Schlaf seinerseits auf circadianrhythmische Funktionen einwirken. Das aufgrund mangelnder Anpassungsfähigkeit mit jeder weiteren Verschiebung der Ruhephase in die Nacht sich vergrößernde Schlafdefizit der Morgentypen drückt sich in einem parallelen Absinken des Vigilanzniveaus aus. Die Angaben der Probandinnen Ba und Bu über Mittagsschlaf und ungewöhnlich früh einsetzende abendliche Erschöpfung (vgl. S. 44) ergänzen die Anzeichen starker subjektiver und objektiver Beeinträchtigung der Lebensqualität durch Veränderungen des gewohnten Schlaf-Wach-Rhythmus. Die Deutlichkeit dieser Befunde bereits bei unseren vergleichsweise geringfügigen zeitlichen Manipulationen läßt geradezu erwarten, daß Morgentypen auf dauernde Umkehrung des Schlaf-Wach-Rhythmus mit ausgeprägten Deformierungen der Tagesgänge vegetativer Funktionen sowie der Vigilanz reagieren. AANONSEN (1964) und in jüngster Zeit STRATMANN (1979) konnten dies in Untersuchungen an Industrie-Nachtarbeitern bzw. Nachtschwestern eindrucksvoll zeigen.

Die Probandinnen mit abendtypischer Phasenlage, die aufgrund ihrer größeren adaptativen Fähigkeit unabhängig vom Zubettgeh-

termin ihre Schlafdauer beibehalten konnten, zeigen folgerichtig keine auffälligen Unterschiede im Tagesprofil der Vigilanz zwischen den vier Einzelversuchen.

Die Bedeutung einer ausreichenden Schlafdauer für das Vigilanzniveau geht auch aus einer Untersuchung von TAUB & BERGER (1976) hervor, die nach dreistündiger willkürlicher Schlafzeitverkürzung bei ihren durchschnittlich 10 Stunden schlafenden Probanden einen merklichen Abfall von Leistungsfähigkeit und Wachheit beobachteten.

FORT & MILLS (1976) führten Vigilanzmessungen direkt nach dem Erwachen zu verschiedenen Tageszeiten durch, wobei sie den Störfaktor 'Schlafentzug' durch ein systematisch variiertes Verteilungsmuster von Schlafen und Wachen auszuschalten suchten. Die Leistungsfähigkeit ihrer Versuchspersonen war zu jeder Tageszeit kurz nach dem Wecken geringer als nach längerer Wachzeit. Ihrer Schlußfolgerung, weniger die Schlafqualität als vielmehr der Schlaf als solches übe den dominierenden Einfluß auf die Gestaltung des Tagesgangs der Vigilanz aus, müssen wir angesichts unserer eigenen Befunde widersprechen. Danach ist das Vigilanzniveau bei Erwachen abhängig von der individuellen circadianen Phasenlage; die Höhe des mittleren Tagesniveau der Vigilanz wird zweifelsfrei mitbestimmt durch die Schlafdauer (und -qualität) der vorangegangenen Nacht.

B. ZUSAMMENFASSUNG

Bei je drei gesunden weiblichen Morgentypen (HORNE-ÖSTBERG-Index > 62) und Abendtypen (HORNE-ÖSTBERG-Index < 38) mit normaler Lebensweise, deren circadiane Phasenlage zuvor in 24-Stunden-Versuchen unter gleichmäßigen Ruhebedingungen objektiviert wurde, wurde unter Klimakammerbedingungen das Schlafverhalten bei systematischer Verschiebung der Zubettgehzeiten (21.00, 23.00, 1.00 und 3.00 Uhr) untersucht. Als Meßgrößen dienten die Einschlaflatenzzeit, die spontane Schlafdauer unter konstanten Außenbedingungen, die Rektaltemperatur sowie die Herz- und Atemfrequenz. Am der jeweiligen Versuchsnacht folgenden Tag bestimmten die Versuchspersonen zu Hause in 3-stündigen Intervallen (9.00, 12.00 Uhr, ...) ihre Oraltemperatur sowie ihre subjektive Vigilanz anhand eines skalierten Fragebogens.

Während die Einschlaflatenzzeit der Morgentypen nur im 21.00 Uhr-Versuch geringfügig über dem Bevölkerungsdurchschnitt lag, fielen die Abendtypen durch signifikant längere Latenzzeiten in den vor Mitternacht begonnenen Versuchen (21.00 u. 23.00 Uhr) auf; in den Normbereich gelangten sie erst beim 1.00 Uhr-Termin.

Nur im 21.00 Uhr-Versuch reichten die Morgentypen an die mittlere Schlafdauer der Abendtypen heran; mit späterem Zubettgehen verkürzte sich ihre spontane Schlafdauer fortschreitend bis auf nurmehr 5.50 Stunden ($\bar{x}$). Zu einer kompensatorischen Ausdehnung des Nachtschlafes in den Vormittag hinein waren sie offenbar nicht imstande. Die Abendtypen hingegen konnten ihre signifikant längere Schlafdauer (im 23.00, 1.00 u. 3.00 Uhr-Versuch) unabhängig vom Zubettgehtermin beibehalten, da sie sich der Verschiebung des Nachtschlafes durch flexible Schlafausdehnung in den Vormittag anpaßten.

In allen vier Versuchen zeigten die mittleren Temperaturtagesgänge der beiden Typengruppen eine signifikante zeitliche Auftrennung der Extremlagen mit Phasenvoreilung bei den Morgen-

typen, Phasenverspätung bei den Abendtypen. Während ein Einfluß der Schlafzeitverschiebung auf die zeitliche Lage des Temperaturmaximums am folgenden Tag im Sinne einer Phasenverschiebung bei beiden Typengruppen nicht zuverlässig gesichert werden konnte, reagierten die Morgentypen auf die Verzögerungen des Nachtschlafs mit einer synchronen Rechtsverschiebung der mittleren nächtlichen Temperaturminima.

Die Herzfrequenz nahm bei den Abendtypen in allen Versuchen einen charakteristischen Verlauf mit Verspätung des nächtlichen Minimums und, entsprechend der stärker gedämpften Reaktionslage dieser Individuen, nur mäßigem morgendlichen Frequenzanstieg. Bei unauffälligem Kurvenverlauf in den frühen Versuchen zeigten die Morgentypen bei Verschiebung der Zubettgehzeit auf 1.00 und 3.00 Uhr unter Verlust des nächtlichen Minimums völlig atypisch steil ansteigende Frequenzkurven.

Zwar nahm auch bei einem Teil der Abendtypen die Häufigkeit normaler Puls-Atem-Quotientwerte mit Verschiebung der Schlafzeit ab, dieses Phänomen ist jedoch nur bei den Morgentypen stark genug ausgeprägt, um die Annahme einer Störung der spontanen Normalisierung der Frequenzkoordination zwischen Herzschlag und Atmung als Zeichen eines Erholungsdefizits zu rechtfertigen.

Die unterschiedliche vegetative Reaktionslage der beiden Phasentypen prägte sich auch in nahezu gegensinnigen Tagesgängen der subjektiven Vigilanz aus, die beim Morgentyp durch ein frühmorgendliches Maximum, deutliche Mittagssenke und frühabendlichen Abfall, beim Abendtyp durch ein Minimum in den Morgenstunden und ein Maximum in der zweiten Hälfte des Tages gekennzeichnet war. Das bei beiden Typengruppen im 21.00 Uhr-Versuch in etwa gleichhohe mittlere Tagesniveau konnte nur von den Abendtypen über die späten Versuche hinweg gehalten werden, die Morgentypen erlitten eine mit jeder weiteren Verschiebung des Nachtschlafs zunehmende Senkung ihres mittleren Tagesvigilanzniveaus.

VI. Literaturverzeichnis

AANONSEN, A.: Shiftwork and health. Universitetsforlaget, Oslo (1964)

ALLUISI, S.: Performance, heart rate and respiration rate on the day-night continuum. Percept. Mot. Skills 18: 409-415 (1964)

ASCHOFF, J.: Der Tagesgang der Körpertemperatur beim Menschen. Klin. Wochenschr. 33:345, (1955)

ASCHOFF, J.: The phase-angle difference in circadian periodicity. in: ASCHOFF, J. (Hrsg.): Circadian Clocks, 262-276, Karger, Basel-New York, (1965)

ASCHOFF, J.: Physiologie biologischer Rhythmen. Ärzt. Praxis 18:1569-1593, (1966)

ASCHOFF, J.: Human circadian rhythms in activity, body temperature and other functions. Life Sciences and Space Res., North-Holland, Amsterdam (1967)

ASCHOFF, J.: Circadiane Periodik als Grundlage des Schlaf-Wach-Rhythmus. in: BAUST, W. (Hrsg.): Ermüdung, Schlaf und Traum, 59-91, Wiss. Verlags-GmbH Stuttgart (1970)

ASCHOFF, J., GIEDKE, H., POPPEL, E. u. WEVER, R.: The influence of sleep-interruption and of sleep-deprivation on circadian rhythms in human performance. in: COLQUHOUN, W.P. (Hrsg.): Aspects of Human Efficiency. The Eng. Univ. Press Ltd., (1972)

BAKAN, P.: Time-of-day preference, vigilance and extraversion-introversion. in: BUCKNER, D.N. u. GRATH, J.J. (Hrsg.): 'Vigilance': A Symposion, Mc Graw Hill, New York, (1963)

BAUST, W. u. BOHNERT, H.: The regulation of heart rate during sleep. Exp. Brain Res. 7: 169, (1969)

BAUST, W., ASCHOFF, J., BERLUCCHI, G., HILTMANN, W.D., HOLM, E., HOFF, E., MATUSSEK, N., OTTER, H.P., SCHAEFER, H.: Ermüdung, Schlaf und Traum. Wissensch. Verlags-GmbH Stuttgart, (1970)

BEST, Ch. u. TAYLOR, N.B.:
The living body.
4th ed. London: Chapman & Hall, (1964)

BJERNER, B. u. SWENSSON, A.:
Schichtarbeit und Rhythmus.
Verh. 3. Konf. Int. Ges. f. Biol. Rhythmusforschung. Acta med. scand., Suppl. 278, 102-107, (1953)

BLAKE, M.J.F.: Physiological and temperamental correlates of performance at different times of day.
Ergonomics, 8: 375-376, (1965)

BLAKE, M.J.F.: Relationships between circadian rhythms of body temperature and introversion-extraversion.
Nature 215: 896-905, (1967)

BLAKE, M.J.F.: Temperament and time of day.
in: COLQUHOUN, W.P. (Hrsg.): Biological rhythms and human performance.
Academic Press, London u. New York, (1971)

BOAS, E.P. u. GOLDSCHMIDT, E.F.:
The heart rate.
Springfield, Ill., (1932)

BOND, W.C., BOHS, C., EBEY, J. u. WOLF, S.:
Rhythmic heart rate variability related to stages of sleep.
Cond. Refl. 8: 98-107, (1973)

BRAASCH, F.: Zwei Verlaufsformen der Schlaftiefenkurve analog zwei Verlaufsformen verschiedener 'Antriebsentfaltung'.
in: JOVANOVIC, U.J. (Hrsg.): The nature of sleep. Int. Sym. Würzburg 1971, 123-126. G.Fischer Verlag Stuttgart, (1973)

BÜNNING, E.: Die physiologische Uhr.
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg (1958)

CLÉMENT, F. u. BOURLIÈRE, F.:
Le sommeil chez l'adulte et les personnes âgées: facteurs qui peuvent influer sur cet état.
Coll. Int. CNRS 96: 155-173, (1961)

COLQUHOUN, W.P.: Circadian variations in mental efficiency.
in: Colquhoun, W.P. (Hrsg.): Biological rhythms and human performance. 39-108.
Academic Press, London u. New York, (1971)

COLQUHOUN, W.P. u. EDWARDS, R.S.:
Circadian rhythms of body temperature in shift-workers at a coal-face.
Brit.J.Indust.Med. 27: 266-272, London, (1970)

CONROY, R.T.W.L. u. MILLS, J.N.:
Human circadian rhythms.
J.u.A. Churchill: London (1970)

DE FEE, J.R.: Social desirability as a function of time of day in morning-active and evening-active males.
Percept.Mot.Skills 30: 854-855, (1970)

ENGEL, P., HILDEBRANDT, G. u. PÖLLMANN, L.:
Die Wirkung von Schlafunterbrechung und Nachtarbeit auf die Frequenz- und Phasenkoordination von Herzschlag und Atmung während des Schlafes.
Arbeitsmed., Sozialmed. und Arbeitshygiene 38: 95-104, (1970)

FOA-REPORTS: Psychophysiological circadian rhythms: a lit. review.
Vol. 9: Nr. 6, (1975)

FORET, J. u. LANTIN, G.:
The sleep of train drivers: An example of the effects of irregular work schedules on sleep.
in: COLQUHOUN, W.P.: Aspects of human efficiency, 273-282,
The Engl. Uni. Press Ltd., (1972)

FORSTER, J.C.: Hours spent in sleep by young children.
Proc. Ninth. Internat. Congr. Psychol., 168-169, (1929)

FORT, A. u. MILLS, J.N.: Der Einfluß der Tageszeit und des vorhergehenden Schlaf-Wach-Musters auf die Leistungsfähigkeit unmittelbar nach dem Aufstehen.
in: HILDEBRANDT, G. (Hrsg.): Biologische Rhythmen und Arbeit.
Springer-Verlag, Wien-New York, (1976)

FRÖBERG, J.E.: Twentyfour hour temporal pattern in human performance: their relationships with subjective and physiological variables and differences between morning and evening active subjects.
Autorenmanuskript, Veröffentlichung im Druck, (1975)

GROLLMANN, A.: Physiological variations in the cardiac output of man.
Am. J. Physiol. 95: 274-284, (1930)

HÄKKINEN, S.: Adaptability to shift-work.
Studia Laboris et Salutis 4: 68-80, (1969)

HAMPP, H.: Die tagesrhythmischen Schwankungen der Stimmung und des Antriebs beim Menschen. Arch.Psychiat.Nervenkr. 20: 355, (1961)

HAUTY, G.T. u. SMITH, F.L.: Psychological correlates of physiological circadian periodicity. Nato symposium, Strasbourg, Juli 1970

HELLBRÜGGE, Th.: Chronophysiologie des Kindes. Verhdl. Dtsch. Ges. inn. Med. 73: 896-921, (1973)

HESS, W.R.: Über die Wechselbeziehungen zwischen psychischen und vegetativen Funktionen. Schweiz. Arch. Neurol. Psychiat. 15: 260-277, (1924) u. 16: 285-306, (1925)

HILDEBRANDT, G.: Über die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung. Z. klin. Med. 150: 445-454, (1953)

HILDEBRANDT, G.: Die rhythmische Funktionsordnung von Puls und Atmung. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilkunde 7: 533-615, (1960)

HILDEBRANDT, G.: Reaktive Perioden und Spontanrhythmik. Reports VII. Conference of the Society for Biological Rhythms Siena, 75-82,(1960)

HILDEBRANDT, G.: Rhythmus und Regulation. Mediz. Welt 2: 73-81, (1961)

HILDEBRANDT, G.: Zur Frage der rhythmischen Funktionsordnung beim Menschen. in: Bad Oeynhausener Gespräche V: 22-28, Springer-Verlag, Wien-New York, (1961)

HILDEBRANDT, G.: Rhythmische Koordination als Ordnungsprinzip biologischer Funktionen. Umschau 19: 592-596, (1962)

HILDEBRANDT, G.: Die Bedeutung der Umweltreize für den Tagesrhythmus des Menschen. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilkunde 13: 626-644, (1966)

HILDEBRANDT, G.: Die Koordination rhythmischer Funktionen beim Menschen. Verh.Dtsch.Ges.Inn.Med. 73: 922-941,(1967)

HILDEBRANDT, G.: Rhythmologische Aspekte der Selbstordnung, Arch.Physik.Therapie 21: 237-249, (1969)

HILDEBRANDT, G.: Gesichtspunkte einer therapeutischen Zeitordnung.
in: Band II Zentralarch. Physio.therap., 12-22, (1971)

HILDEBRANDT, G. u. ENGEL, P.:
The relation between diurnal variations in psychic and physical performance.
in: COLQUHOUN, E.P.: Aspects of human efficiency.
The Engl. Univ. Press Ltd., (1972)

HILDEBRANDT, G.: Medizinische Rhythmusforschung.
University 8: 857-870, (1973)

HILDEBRANDT, G.: Chronobiologische Grundlagen der sogenannten Ordnungstherapie.
Therapiewoche 24: 3883-3901, (1974)

HILDEBRANDT, G.: Chronobiologische Grundlagen der Leistungsfähigkeit und Chronohygiene.
in: HILDEBRANDT, G. (Hrsg.): Biologische Rhythmen und Arbeit.
Springer-Verlag, Wien-New York, (1976)

HOCKEY, G.R.J. u. COLQUHOUN, W.P.:
Diurnal variations in human performance. A review.
in: COLQUHOUN, W.P. (Hrsg.): Aspects of human efficiency.
The Engl. Univ. Press Ltd., (1972)

HOFFMANN, K.: Zur Beziehung zwischen Phasenlage und Spontanfrequenz bei der endogenen Tagesperiodik.
Z. Naturforsch. 18b: 154-157, (1963)

HOFFMANN, K.: Overt circadian frequences and circadian rule.
in: ASCHOFF, J. (Hrsg.): Circadian clocks, 87-96, (1964)

HORNE, J.A. u. ÖSTBERG, O.:
Individual differences in, and some interrelationships between circadian changes of body temperature, behaviour, salivation and extraversion.
Brit. Psych. Assoc., (1974)

JOHNSON, H.M.: Is sleep a vicious habit?
Harper's 11: 3-11, (1928)

JOVANOVIC, U.J.: Normal sleep in man.
Hippokrates Verlag Stuttgart, (1971)

KANNER, L.: The influence of rest, sleep and work on action of heart.
Am. J. Med. Sci. 171: 331-340, (1926)

KLEITMAN, N.: Sleep and wakefulness.
Chicago Univ. Press., (1939)

KLEITMAN, N., MULLIN, F.J., COOPERMAN, N.R. u. TITELBAUM, S.:
Sleep characteristics.
Chicago Univ. Press., (1937)

KLEITMAN, N. u. RAMSAROOP, A.:
Periodicity in body temperature and heart rate.
Endocrinology 43: 1-20, (1948)

KLEITMAN, N. u. ENGELMANN, T.G.:
The development of the diurnal sleep-wakefulness rhythm in the infant.
Ref. 1953a: 106, (1953)

KOELLA, W.: Physiologie des Schlafs.
Verlag W.Kohlhammer, Stuttgart etc.,(1973)

LEWIS, P.R. u. LOBBAN, M.C.:
Dissociation of diurnal rhythms in human subjects living on abnormal time routines.
Quart.J.exp.Physiol. 42: 371-386, (1957)

LOVELAND, N.T. u. WILLIAMS, H.L.:
Adding, sleep loss, and body temperature.
Percept.Mot.Skills, 16: 923-931, (1963)

LUCAS, R.: Untersuchungen über den Nachtschlaf des Menschen bei circadian freilaufendem Schlaf-Wachzyklus.
Med.Inaug.-Dissertation Marburg/L.,(1973)

MAGNUSSEN, G.: Vasomotorische Veränderungen in den Extremitäten in Verhältnis zu Schlaf und Schlafbereitschaft.
Acta Psychiat.Neurol. 14: 39-54, (1939)

MASTERTON, A.: Pattern of sleep.
in: EDHOLM, O.G. u. BACHARACH, A.L.:
The Physiology of human survival, 112-126
Academic Press, London, (1965)

MELETTE, H.C., HUTT, B.K., ASKOVITZ, S.J. u. HORVATH, S.:
Diurnal variations in body temperature.
J. Appl. Physiol. 3: 665, (1951)

MENZEL, W.: Menschliche Tag-Nacht-Rhythmik und Schichtarbeit.
Basel-Stuttgart, (1962)

MONNIER, M.: Der Schlaf als trophotrope Leistung.
in: Physiol. u. Pathophysiol. veget. Nervensystem I, 263-279, (1963)

MURRAY, E.J., WILLIAMS, H.L. u. LUBIN, A.:
Body temperature and psychological ratings during sleep deprivation.
J. Exp. Psychol. 56: 271, (1958)

ÖQUIST, O.:
Kartlägging av individuella dysrhythmer.
Lic. arbete i psykologi Göteborgs universitet, (1970)

ÖSTBERG, O.:
Interindividual differences in circadian fatigue patterns of shift-workers.
Brit. J. Industr. Med., 341-351, (1973)

ÖSTBERG, O.:
Circadian rhythms of food intake and oral temperature in morning and evening groups of individuals.
Ergonomics 16: 203-209, (1973)

ÖSTBERG, O. u. HORNE, J.A.:
Zur Typologie der circadianen Phasenlage. Ansätze zu einer praktischen Chronohygiene.
in: HILDEBRANDT, G. (Hrsg.): Biologische Rhythmen und Arbeit, 117-137,
Springer-Verlag, Wien-New York, (1976)

PÁTKAI, P.:
Interindividual differences in diurnal variations in alertness, performance and adrenaline excretion.
Reports from the Psychol. Laboratories, the Univ. of Stockholm, Nr. 273, (1969)

PÁTKAI, P.:
Diurnal differences between habitual morning workers and evening workers in some psychological and physiological functions.
Reports from the Psychol. Laboratories, the University of Stockholm, Nr. 311, (1970)

PÁTKAI, P.:
The diurnal rhythm of adrenaline excretion in subjects with different working habits.
Acta Physiol. Scand. 81: 30, (1971)

PETTERSON-DAHLGREN, K.: Biologische Tagesrhythmen bei unterschiedlicher Anordnung der Arbeitszeit.
in: HILDEBRANDT, G. (Hrsg.): Biologische Rhythmen und Arbeit, 97-107,
Springer-Verlag, Wien-New York, (1976)

PÖLLMANN, L. u. HILDEBRANDT, G.:
Über die Frequenzkoordination von Herzschlag und Atmung während des Nachtschlafs in Abhängigkeit von der Tagesbelastung.
Int.Z.angew.Physiol. 28, 273-291, (1970)

RASCHKE, F., BOCKELBRINK, W. u. HILDEBRANDT, G.:
Spectral analysis of momentary heart rate for examination of recovery during night sleep.
Z. Phys. Med. (im Druck)

RUTENFRANZ, J., ASCHOFF, J. u. MANN, H.:
The effects of cumulative sleep deficit, duration of preceding sleep period and body-temperature on multiple choice reacting time.
in:COLQUHOUN, W.P. (Hrsg.): Aspects of human efficiency.
The Engl. Univ. Press Ltd., (1972)

SCHUBERT, F.-Ch. u. JOVANOVIĆ, U.J.:
Sleep behaviour - Especially falling a-sleep and awakenings during the night - in adults in relation to personality variables.
in: JOVANOVIC, U.J. (Hrsg.): The nature of sleep, 123-126.
Fischer-Verlag, Stuttgart, (1973)

SHELDON, W.H.: The varieties of temperament.
Harper, New York, (1942)

SOLLBERGER, A.: Circadian rhythms and their control, with special references to sleep and drug-effects.
Exp. Med. and Surgery 27: 80-104, (1969)

STORCH, J. u. HILDEBRANDT, G.:
Methodische Grundlagen zur Bestimmung der Puls-Atem-Kopplung beim Menschen und ihr Verhalten im Schlaf.
Pflügers Arch.ges.Physiol. 2: 46, (1966)

STRATMANN, I.: Über die Adaptationsfähigkeit der Circadianrhythmen von Nachtschwestern in Abhängigkeit von der circadianen Phasenlage.
Med. Inaug.-Diss. Marburg/L. (1977)
(in Vorbereitung)

STREMPEL, H. u. HILDEBRANDT, G.:
Zur Prognostik funktioneller Adaptationsverläufe.
Z. Phys. Med. (im Druck)

SUCKLING, E.E., KOENIG, E.H., HOFFMANN, B.F. u. BROOKS, C.Mc.C.:
The physiological effects of sleeping on hard or soft beds.
Human Biol. 29: 274-288, (1957)

TAUB, J.M. u. BERGER, R.J.:
Performance and mood following variations in the length and timing of sleep.
Psychophysiol. 10: 559-570, (1973)

TAUB, J.M. u. BERGER, R.J.:
The effects of changing the phase and duration of sleep.
J. Exp. Psychol. (Human Percept.) 2: 30-41, (1976)

THAYER, R.E.:
Measurement of activation through self-report.
Psychol. Reports 20: 663-678, (1967)

THAYER, R.E.:
Activation states as assessed by verbal report and four psychophysiological variables.
J. Psychophysiol. 7: 86-94, (1970)

TUNE, G.S.:
The influence of age and temperament on the adult human sleep-wakefulness pattern.
Br. J. Psychol. 4: 431-441, (1969a)

TUNE, G.S.:
Sleep and wakefulness in 509 normal human adults.
Br. J. Med. Psychol. 1: 75-79, (1969b)

VOIGT, E.-D., ENGEL, P. u. KLEIN, H.:
Über den Tagesgang der körperlichen Leistungsfähigkeit.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphys. 25: 1-12, (1968)

WEBB, W.B. u. FRIEL, J.:
Characteristics of "natural" long and short sleepers: A preliminary report.
Psychol. Reports 27: 63-66, (1970)

WEBB, W.B.:
Sleep behaviour as a biorhythm.
in: COLQUHOUN, W.P. (Hrsg.): Biol. rhythms and human performance, 149-178.
Acad. Press, London-New York, (1971)

WEBB, W.B.:
Pattern of sleep behaviour.
in: COLQUHOUN, W.P. (Hrsg.): Aspects of human efficiency.
The Eng. Univ. Press Ltd., (1972)

WELCH, A.J. u. RICHARDSON, P.C.:
Computer sleep stage classification using heart rate data.
Electroencephalography and Clinical Neurophysiol. 34: 145-152, (1973)

WENDT, H.W.:
Sex and population in circadian typologies.
J. Interdiscipl. Cycle Res., (1977)

WERNER, M.:
Über die objektive und subjektive Bestimmung der circadianen Phasenlage des Menschen.
Med. Inaug.-Diss. Marburg/L., (1978)

Nach Abschluß dieser Arbeit danke ich Herrn Prof. Dr. med. G. Hildebrandt für die Überlassung des Themas, darüber hinaus für das ständige Interesse und seine fruchtbare Kritik bei der Abfassung der Arbeit.

Mein Dank gilt weiterhin allen Mitarbeitern der Abteilung Robert-Koch-Straße des Instituts für Arbeitsphysiologie und Rehabilitationsforschung, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. F. Raschke für seine nie ermüdende Hilfsbereitschaft.

Danken möchte ich auch Frl. Arnold für das Zeichnen der Abbildungen und Frau Uhrmann für die Anfertigung der Tabellen. Nicht zuletzt denke ich mit großer Dankbarkeit an die freundschaftliche und befruchtende Zusammenarbeit mit Frau I. Stratmann.

Lebenslauf

Am 27.9.1952 wurde ich als Tochter des Bundesbahnamtsrats Ewald Döhre und seiner Ehefrau Ottilie, geb. Schwitajewski, in Kassel geboren.
Nach vierjährigem Besuch der Grundschule in Vellmar begann ich im April 1963 die Gymnasialausbildung an der Jacob-Grimm-Schule in Kassel. Dort absolvierte ich den mathematisch-naturwissenschaftlichen Oberstufenzweig und legte am 14.6. 1971 die Reifeprüfung ab.
Im Herbst 1971 schrieb ich mich an der Georg-August-Universität Göttingen für die Fächer Psychologie, Biologie und Chemie ein, entdeckte jedoch bald eine größere Neigung zur Medizin und begann dieses Studium im Wintersemester 1972 an der Philipps-Universität Marburg. Hier bestand ich am 6.9. 1973 das Vorphysikum, am 18.9.1974 die Ärztliche Vorprüfung, am 29.8.1975 den 1.Abschnitt der Ärztlichen Prüfung und am 17.3.1978 den 2.Teil der Ärztlichen Prüfung.
Seit 15. April 1978 absolviere ich das Praktische Jahr am Stadtkrankenhaus Kassel. Im April 1979 werde ich den 3.Abschnitt der Ärztlichen Prüfung ablegen.

Seit dem 2.Juni 1978 bin ich mit dem Medizinstudenten Friedemann Mack verheiratet.

Meine akademischen Lehrer in Marburg und am Stadtkrankenhaus Kassel (Lehrkrankenhaus der Philipps-Universität) waren die Herren Professoren und Dozenten:

Amon, Buchholz, Claus, Dombrowski, Exner, Friederich, Ganz, Giebel, Golenhofen, Haberich, Habermehl, Hadewig, Hamelmann, Havemann, Heinecker, Hensel, Hildebrandt, Hort, Kaffarnik, Karlson, Kleinsasser, Koecke, Koransky, Lange, Mannheim, Maroske, Martini, Neurath, Oepen, Perst, Petry, Pohlen, Riecken, Rodeck, Rohen, Schmitz-Moormann, Schulte-Hermann, Siegert, Siegrist, Sodomann, Solcher, Straub, Stutte, Wehinger, Wendt, Willenbockel.